

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA



**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA UN DISEÑO DE LUMINARIA PÚBLICA AUTÓNOMA DE CONSUMO HÍBRIDO EN EL PUENTE LLACOLÉN, UTILIZANDO EL POTENCIAL EÓLICO Y SOLAR”**

Informe de Habilitación Profesional  
presentado en conformidad a los requisitos  
para optar al Título de Ingeniero Civil Mecánico

Profesor Guía:  
**Sr. REINADO SÁNCHEZ ARRIAGADA**

**MAURICIO ADOLFO MUÑOZ CÁCERES**

**CONCEPCION – CHILE**  
**2017**

## **RESUMEN**

El proyecto presenta un diseño de luminarias autónomas con tecnología led utilizando el potencial eólico y solar existente en el puente Llacolén de Concepción. El diseño propuesto fue evaluado técnicamente y económicamente para analizar su viabilidad.

Se expuso un marco teórico explicando el funcionamiento de los equipos, las metodologías empleadas en los cálculos teóricos, y las normas de regulación urbana asociadas. Además se analizó el actual diseño de iluminación de 49 luminarias existente en el viaducto para diseñar un nuevo sistema de iluminación que consideró 55 luminarias autónomas.

El potencial solar y eólico se obtuvieron a través de datos de radiación y del análisis estadístico de velocidades de vientos desde 2005 hasta 2015. Posteriormente se seleccionaron los componentes con las especificaciones técnicas requeridas y se analizó técnicamente el correcto funcionamiento autónomo durante los meses del año, con una potencia instalada de 1230[W] por cada luminaria, y una potencia instalada total de 67.7 [kW] para el conjunto de luminarias. El análisis económico dio como resultado una inversión inicial de \$232.559.584, con un costo de instalación de 5.1 [ $US\$/W$ ], y un VAN de -\$228.266.160 para un horizonte de 25 años y una tasa de descuento del 10%.

Los resultados concluyeron que el diseño propuesto sí es factible técnicamente de operar bajo las condiciones en las que fue diseñada, iluminando el viaducto sin desabastecimiento con un factor de operación que varió entre 12.8% y 23.0% durante los meses del año. Sin embargo, el diseño propuesto no es viable económicamente principalmente por su alto costo de inversión inicial y reinversión posterior por el recambio de baterías. La opción de vender a la red la energía sobrante no fue viable, con un VAN de -\$171.419.229.

De manera adicional a los objetivos de este informe se presentó un diseño alternativo bajo nuevos parámetros, dejando el modelo híbrido para operar sólo con tecnología fotovoltaica, y priorizando la venta a la Red de la energía sobrante. El diseño alternativo presentó una inversión de \$226.612.823, con un costo de instalación de 1.82 [ $US\$/W$ ] y un VAN de \$42.129.636 para un horizonte de 25 años y una tasa de descuento del 10%, con un retorno de la inversión de 14.5 años. Esto se realizó para demostrar que estas tecnologías sí pueden presentar un atractivo económico, dependiendo del objetivo para el cual sean diseñados.

Se pudo concluir además que las tecnologías actuales sí permiten diseñar un sistema de iluminación híbrida y autónoma que funcione satisfactoriamente durante el año, pero estas mismas tecnologías presentan un alto costo, influyendo en el análisis económico.

## INDICE

NOMENCLATURA Y ABREVIACIONES .....	1
<b>Capítulo 1: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
1.1 INTRODUCCION .....	3
1.2 OBJETIVO GENERAL .....	4
1.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	4
1.4 METODOLOGÍA.....	4
1.5 ALCANCES.....	4
<b>Capítulo 2: ENERGÍA FOTOVOLTAICA</b> .....	<b>5</b>
2.1 RECURSO SOLAR.....	5
2.1.1 Factores físicos determinantes de un lugar.....	6
2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA .....	7
2.3 COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	8
2.3.1 Panel fotovoltaico .....	8
2.3.1.1 Celdas de Silicio mono-cristalino.....	9
2.3.1.2 Celdas de Silicio poli-cristalino.....	9
2.3.1.3 Celdas de Silicio amorfo.....	10
2.3.1.4 Celdas de Arseniuro de Galio.....	10
2.3.2 Baterías .....	11
2.3.2.1 Clasificación según sus componentes internos.....	11
2.3.2.2 Clasificación según su régimen de descarga .....	13
2.3.2.3 Conexión de Baterías .....	13
2.3.3 Regulador de Carga .....	15
2.3.4 Inversor de corriente .....	16
2.3.5 Conductores eléctricos .....	17
2.4 POTENCIAL SOLAR.....	19
2.4.1 Orientación de los paneles Fotovoltaicos .....	20
2.4.2 Factores que afectan el rendimiento de los paneles solares.....	22
<b>Capítulo 3: ENERGÍA EÓLICA</b> .....	<b>23</b>
3.1 RECURSO EÓLICO .....	23
3.1.1 Factores físicos determinantes de un lugar.....	24
3.1.1.1 Rugosidades del terreno.....	25

3.1.1.2	Turbulencias por obstáculos.....	26
3.1.1.3	Efectos aceleradores del viento.....	27
3.1.1.4	Densidades de aire.....	29
3.1.2	Variabilidad del viento.....	29
3.1.2.1	La rosa de los vientos.....	30
3.1.2.2	Distribución de Weibull.....	32
3.1.2.3	Distribución de Rayleigh.....	36
3.2	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN AEROGENERADOR.....	37
3.2.1	Componentes de un aerogenerador.....	37
3.2.2	Tipos de aerogeneradores.....	45
3.2.2.1	Clasificación según el eje de trabajo.....	45
3.2.2.2	Clasificación según el número de aspas o palas.....	47
3.2.2.3	Clasificación según la posición del rotor de la maquina.....	48
3.2.2.4	Clasificación según tamaño y potencia.....	49
3.2.2.5	Clasificación según tipo de generador eléctrico.....	50
3.3	POTENCIAL EÓLICO.....	51
3.3.1	Limite de Betz.....	53
3.3.2	Coeficiente de potencia.....	54
<b>Capítulo 4:</b>	<b>LUMINOTECNIA.....</b>	<b>55</b>
4.1	UNIDADES FOTOMÉTRICAS Y MAGNITUDES LUMINOSAS.....	55
4.1.1	Flujo Luminoso [ $\Phi$ ].....	55
4.1.2	Rendimiento luminoso (eficiencia luminosa) [ $\epsilon$ ].....	55
4.1.3	Energía luminosa [ $Q$ ].....	56
4.1.4	Intensidad luminosa [ $I$ ].....	56
4.1.5	Illuminancia [ $E$ ].....	57
4.1.6	Luminancia [ $L$ ].....	57
4.1.7	Uniformidad Global [ $U_0$ ].....	58
4.1.8	Uniformidad Longitudinal [ $U_L$ ].....	58
4.1.9	Factor de utilización [ $f_u$ ].....	59
4.1.10	Factor de mantenimiento [ $f_m$ ].....	60
4.1.11	Temperatura del color de la Luz.....	61
4.2	REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE MAGNITUDES.....	62

4.3 EQUIPOS DE ALUMBRADO .....	64
4.3.1 Luminaria CUT-OFF .....	64
4.3.2 Luminaria SEMI CUT-OFF .....	65
4.3.3 Luminaria NON CUT-OFF .....	65
4.4 CONFIGURACIÓN DE LUMINARIAS EN ZONAS DESTINADAS A TRÁNSITO VEHICULAR .....	66
4.4.1 Unilateral .....	66
4.4.2 Tresbolillo .....	67
4.4.3 En oposición .....	67
4.4.4 Central con brazo doble .....	67
<b>Capítulo 5:  NORMATIVA PARA PROYECTOS DE GENERACIÓN RENOVABLE .....</b>	<b>68</b>
5.1 NORMATIVA PARA PROYECTOS FOTOVOLTAICOS .....	68
5.1.1 NCh 2902.Of2004 (IEC 61836:1997) .....	68
5.1.2 NCh 2927.Of2005 (IEC 61277:1995) .....	68
5.1.3 NCh 2898.Of2004 (IEC 61194:1992) .....	68
5.1.4 NCh 2896.Of2004 (Thermie B SUP-995-96:2001) .....	68
5.1.5 NCh 2978.Of2005 (IEC 61427:2005) .....	69
5.1.6 NCh 2970.Of2005 (IEC 61683:1999) .....	69
5.1.7 NCh 2940.Of2005 (IEC 61173:1992) .....	69
5.1.8 NCh 2903/1.Of2004 (IEC 60904-1:1 1987) .....	69
5.1.9 NCh 2903/2.Of2004 (IEC 60904-2:1 1989) .....	70
5.1.10 Ch 2903/3.Of2004 (IEC 60904-3:1989) .....	70
5.1.11 NCh 2903/10.Of2004 (IEC 60904-10:1998) .....	70
5.1.12 NCh 2925.Of2005 .....	70
5.1.13 NCh 2922.Of2005 .....	70
5.1.14 NCh 2956.Of2005 (IEC 61646:1996) .....	71
5.1.15 NCh 2976.Of2005 .....	71
5.2 NORMATIVA PARA PROYECTOS EÓLICOS .....	71
5.2.1 NCh 1437/415.Of2005 (IEC 60050-415:1999) .....	71
5.2.2 NCh 2946/1.Of2005 (IEC 61400-1:1999) .....	72
5.2.3 NCh 2946/2.Of2005 (IEC 61400-2:1996) .....	72
5.2.4 NCh 2946/12.Of2005 (IEC 61400-2:1996) .....	73
5.2.5 NCh 2946/13.Of2005 (IEC/TS 61400-13:2001) .....	74

5.2.6 NCh 2946/24.Of2006 (IEC/TS 61400-13:2001).....	74
5.2.7 NCh 2955/24.Of2006 (IEC WT 01:2001).....	74
5.3 REGULACIÓN URBANA PARA LUMINARIAS PÚBLICAS.....	75
5.3.1 Tipos de Superficies de Rodadura.....	75
5.3.2 Clasificación de carreteras.....	78
5.3.3 Selección de clases de alumbrado.....	79
<b>Capítulo 6: DISEÑO DE LUMINARIA LED EN EL PUENTE LLACOLÉN .....</b>	<b>82</b>
6.1 SISTEMA ACTUAL DE ILUMINACIÓN.....	82
6.2 SISTEMA DE ILUMINACIÓN QUE SE DESEA IMPLEMENTAR.....	85
<b>Capítulo 7: ANÁLISIS TÉCNICO .....</b>	<b>90</b>
7.1 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL SOLAR EN CONCEPCIÓN.....	90
7.2 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO EN CONCEPCIÓN.....	90
7.3 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA.....	107
7.4 COBERTURA DE LA DEMANDA ENERGÉTICA .....	109
7.4.1 Sistema fotovoltaico.....	109
7.4.2 Sistema eólico.....	111
7.4.3 Sistema híbrido.....	114
7.5 CÁLCULO DE BATERÍAS.....	115
7.6 CALCULO DE CONTROLADOR DE CARGA.....	116
7.7 CÁLCULO DE INVERSOR.....	116
7.8 CÁLCULO DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS.....	116
<b>Capítulo 8: ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>	<b>119</b>
8.1 COSTOS.....	119
8.2 INVERSIÓN INICIAL.....	120
8.3 ANÁLISIS DE VAN.....	120
8.4 ANÁLISIS DE VAN INYECTANDO ENERGÍA SOBRENTE A LA RED.....	122
<b>Capítulo 9: PROPUESTA DE DISEÑO ALTERNATIVO.....</b>	<b>123</b>
9.1 SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE PROPUESTA ALTERNATIVA.....	123
9.2 ANÁLISIS TÉCNICO DE PROPUESTA ALTERNATIVA.....	124
9.3 ANÁLISIS ECONÓMICO DE PROPUESTA ALTERNATIVA.....	127
<b>Capítulo 10: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>129</b>
BIBLIOGRAFÍA.....	133

ANEXOS .....	136
- ANEXO 1.....	136
- ANEXO 2.....	138
- ANEXO 3.....	144
- ANEXO 4.....	150
- ANEXO 5.....	152
- ANEXO 6.....	156
- ANEXO 7.....	158
- ANEXO 8.....	159
- ANEXO 9.....	160
- ANEXO 10 .....	162
- ANEXO 11 .....	164
- ANEXO 12 .....	165
- ANEXO 13.....	165
- ANEXO 14 .....	166

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de energía solar mundial y de Chile.	-	-	-	-	-	-	6
Figura 2	Formas de incidencia de la radiación solar en la Tierra.	-	-	-	-	-	-	6
Figura 3	Efecto fotovoltaico.	-	-	-	-	-	-	7
Figura 4	Denominación de distintos tipos de agrupación de celdas fotovoltaicas.	-	-	-	-	-	-	8
Figura 5	Celda de Silicio-cristalino y modulo.	-	-	-	-	-	-	9
Figura 6	Celda de Silicio poli-cristalino y modulo.	-	-	-	-	-	-	9
Figura 7	Celda de Silicio amorfo.	-	-	-	-	-	-	10
Figura 8	Celda de arseniuro de galio y modulo.	-	-	-	-	-	-	10
Figura 9	Conexión en paralelo.	-	-	-	-	-	-	14
Figura 10	Conexión en serie.	-	-	-	-	-	-	14
Figura 11	Conexión en serie-paralelo.	-	-	-	-	-	-	14
Figura 12	Onda cuadrada.	-	-	-	-	-	-	16
Figura 13	Onda senoidal modificada.	-	-	-	-	-	-	16
Figura 14	Onda senoidal.	-	-	-	-	-	-	17
Figura 15	Irradiancia y Hse en un día despejado.	-	-	-	-	-	-	19
Figura 16	Ángulos de inclinación para paneles solares.	-	-	-	-	-	-	21
Figura 17	Sectores de mayor temperatura en el planeta.	-	-	-	-	-	-	23
Figura 18	Efecto de la fuerza de Coriolis en los vientos globales.	-	-	-	-	-	-	23
Figura 19	Vista lateral de la corriente del viento alrededor de un obstáculo.	-	-	-	-	-	-	26
Figura 20	Vista superior de la corriente de aire alrededor de un obstáculo.	-	-	-	-	-	-	26
Figura 21	Maquina eólica entre montañas.	-	-	-	-	-	-	27
Figura 22	Efecto de la colina.	-	-	-	-	-	-	27
Figura 23	Colina o loma redondeada de cima pequeña.	-	-	-	-	-	-	28
Figura 24	Colina o loma con laderas abruptas y una gran cima plana.	-	-	-	-	-	-	28
Figura 25	Cima escarpada.	-	-	-	-	-	-	28
Figura 26	Rosa de los vientos.	-	-	-	-	-	-	30
Figura 27	Visualización de la gráfica rosa de los vientos.	-	-	-	-	-	-	31
Figura 28	Distribución Weibull, con factor de escala $c=7$ m/s y variando K	-	-	-	-	-	-	34
Figura 29	Distribución Weibull, con factor de forma $K=2$ y variando C	-	-	-	-	-	-	35
Figura 30	Grafica de la distribución Weibull y Rayleigh para caso particular.	-	-	-	-	-	-	36
Figura 31	Montaje de góndola de un aerogenerador.	-	-	-	-	-	-	37
Figura 32	Instalación del buje en el eje.	-	-	-	-	-	-	39
Figura 33	Ubicación de los ejes en el aerogenerador.	-	-	-	-	-	-	40
Figura 34	Caja de engranajes de ejes paralelos.	-	-	-	-	-	-	40
Figura 35	Caja de engranajes planetarios.	-	-	-	-	-	-	41
Figura 36	Sistema de freno aerodinámico.	-	-	-	-	-	-	42
Figura 37	Sistema de freno mecánico, freno de disco.	-	-	-	-	-	-	42
Figura 38	Vortex en una pala para generar turbulencia controlada.	-	-	-	-	-	-	43
Figura 39	Aerogenerador direccionado por veleta de cola.	-	-	-	-	-	-	43





## INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Conductividad eléctrica del Cobre.	-	-	-	-	-	-	18
Tabla 2	Clases y longitud de rugosidad.	-	-	-	-	-	-	25
Tabla 3	Densidad de aire a presión atmosférica estándar.	-	-	-	-	-	-	29
Tabla 4	Ángulos intermedios según dirección.	-	-	-	-	-	-	31
Tabla 5	Comparación de peso del rotor para distintos materiales de una pala.	-	-	-	-	-	-	38
Tabla 6	Comparación entre modelos de multiplicadores.	-	-	-	-	-	-	41
Tabla 7	Rangos de potencia de aerogeneradores.	-	-	-	-	-	-	49
Tabla 8	Factores de envejecimiento de una luminaria.	-	-	-	-	-	-	61
Tabla 9	Apariencia de color.	-	-	-	-	-	-	61
Tabla 10	Clasificación de luminarias de acuerdo a la CIE.	-	-	-	-	-	-	64
Tabla 11	Reflexión según tipo de capa de rodadura.	-	-	-	-	-	-	76
Tabla 12	Factor R para diferentes tipos de recubrimientos.	-	-	-	-	-	-	77
Tabla 13	Valores límites de IMD recomendados para iluminación.	-	-	-	-	-	-	78
Tabla 14	Clasificación CIE para diferentes tipos de carreteras.	-	-	-	-	-	-	78
Tabla 15	Clases de alumbrado para carreteras.	-	-	-	-	-	-	79
Tabla 16	Clases de alumbrado serie ME.	-	-	-	-	-	-	80
Tabla 17	Clasificación vías de tránsito vehicular.	-	-	-	-	-	-	80
Tabla 18	Iluminancias por clase de Alumbrado.	-	-	-	-	-	-	81
Tabla 19	Radiación global mensual y anual en diferentes inclinaciones y Azimut.	-	-	-	-	-	-	90
Tabla 20	Valores distribución de Weibull y potencias para Enero.	-	-	-	-	-	-	95
Tabla 21	Valores distribución de Weibull y potencias para Febrero.	-	-	-	-	-	-	96
Tabla 22	Valores distribución de Weibull y potencias para Marzo.	-	-	-	-	-	-	97
Tabla 23	Valores distribución de Weibull y potencias para Abril.	-	-	-	-	-	-	98
Tabla 24	Valores distribución de Weibull y potencias para Mayo.	-	-	-	-	-	-	99
Tabla 25	Valores distribución de Weibull y potencias para Junio.	-	-	-	-	-	-	100
Tabla 26	Valores distribución de Weibull y potencias para Julio.	-	-	-	-	-	-	101
Tabla 27	Valores distribución de Weibull y potencias para Agosto.	-	-	-	-	-	-	102
Tabla 28	Valores distribución de Weibull y potencias para Septiembre.	-	-	-	-	-	-	103
Tabla 29	Valores distribución de Weibull y potencias para Octubre.	-	-	-	-	-	-	104
Tabla 30	Valores distribución de Weibull y potencias para Noviembre.	-	-	-	-	-	-	105
Tabla 31	Valores distribución de Weibull y potencias para Diciembre.	-	-	-	-	-	-	106
Tabla 32	Potencial eólico aprovechable para cada mes.	-	-	-	-	-	-	106
Tabla 33	Demanda energética para cada mes.	-	-	-	-	-	-	108
Tabla 34	Características de módulo fotovoltaico y aerogenerador escogidos.	-	-	-	-	-	-	109

Tabla 35	Datos de radiación con Azimut 180° hacia el norte y 36° inclinación.	-	-	-	110
Tabla 36	Energía producida por instalación fotovoltaica para cada mes.	-	-	-	111
Tabla 37	Potencia generada por el aerogenerador para cada mes.	-	-	-	112
Tabla 38	Energía producida por el aerogenerador para cada mes.	-	-	-	113
Tabla 39	Energía producida por la instalación híbrida para cada mes.	-	-	-	114
Tabla 40	Factor de servicio para cada mes.	-	-	-	114
Tabla 41	Factor de operación para cada mes.	-	-	-	115
Tabla 42	Conversión de monedas internacionales a moneda nacional.	-	-	-	119
Tabla 43	Costos de los elementos y dispositivos.	-	-	-	119
Tabla 44	Detalle inversión inicial del proyecto.	-	-	-	120
Tabla 45	Ahorro mensual y anual, si se implementa el proyecto.	-	-	-	121
Tabla 46	Ingresos mensuales y anuales si se vende energía sobrante a la Red.	-	-	-	122
Tabla 47	Demanda energética para cada mes del diseño alternativo.	-	-	-	124
Tabla 48	Energía producida por diseño alternativo para cada mes.	-	-	-	124
Tabla 49	Factor de servicio del diseño alternativo para cada mes.	-	-	-	125
Tabla 50	Costos de los elementos y dispositivos del diseño alternativo.	-	-	-	127
Tabla 51	Detalle inversión inicial del proyecto alternativo.	-	-	-	127
Tabla 52	Ingresos anuales de diseño alternativo si se vende energía a la Red.	-	-	-	128

## NOMENCLATURA Y ABREVIACIONES

<b>E<sub>i</sub></b> =	Irradiancia	[W/m <sup>2</sup> ]
<b>P<sub>inc</sub></b> =	Potencia incidente	[W]
<b>A</b> =	Área de la superficie que recibe la radiación	[m <sup>2</sup> ]
<b>S</b> =	Sección del cable conductor	[mm <sup>2</sup> ]
<b>L</b> =	Largo del cable	[m]
<b>I</b> =	Intensidad de corriente que circula por el cable	[A]
<b>K</b> =	Conductividad eléctrica del material	[ $\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$ ]
<b>ΔV</b> =	Caída de tensión desde el principio hasta el fin de la línea	[Volt]
<b>HSP</b> =	Hora Solar Pico	[°]
<b>θ<sub>ZS</sub></b> =	Zenit	[°]
<b>Υ<sub>s</sub></b> =	Altura Solar.	[°]
<b>Ψ<sub>S</sub></b> =	Azimut	[°]
<b>B</b> =	Ángulo de inclinación superficie panel	[°]
<b>v</b> =	Velocidad del viento a una altura <i>h</i> sobre el nivel del suelo, que se desea estimar	[m·s <sup>-1</sup> ]
<b>v<sub>ref</sub></b> =	Velocidad del viento a la altura de referencia <i>h<sub>ref</sub></i>	[m·s <sup>-1</sup> ]
<b>h<sub>ref</sub></b> =	Altura de referencia. Altura sobre el nivel del suelo conocida, para <i>v<sub>ref</sub></i>	[m]
<b>h</b> =	Altura sobre el nivel del suelo para la velocidad deseada <i>v</i>	[m]
<b>h<sub>0</sub></b> =	Longitud de rugosidad del terreno determinada por la Tabla 1.	[m]
<b>v</b> =	módulo de velocidad del viento	[m·s <sup>-1</sup> ]
<b>c</b> =	Parámetro de escala en	[m·s <sup>-1</sup> ]
<b>k</b> =	Parámetro de forma, adimensional	
<b>V<sub>1</sub></b> =	Módulo de velocidad del viento a la entrada de un sistema.	[m/s]
<b>V<sub>2</sub></b> =	Módulo de velocidad del viento a la salida de un sistema.	[m/s]
<b>P<sub>1</sub></b> =	Presión del viento a la entrada de un sistema.	[Pa]
<b>P<sub>2</sub></b> =	Presión del viento a la salida de un sistema.	[Pa]
<b>Z<sub>1</sub></b> =	Altura del flujo a la entrada de un sistema.	[m]
<b>Z<sub>2</sub></b> =	Altura del flujo a la salida de un sistema.	[m]
<b>w</b> =	Trabajo generado en un proceso.	[J]
<b>g</b> =	Gravedad terrestre.	[m/s <sup>2</sup> ]
<b>ρ</b> =	Densidad de aire.	[kg/m <sup>3</sup> ]
<b>N</b> =	Potencia.	[W]
<b>m</b> =	Flujo másico de aire.	[kg/s]
<b>w</b> =	Trabajo.	[W]
<b>N<sub>teórico</sub></b> =	Potencia teórica de un aerogenerador	[W]
<b>N<sub>aprovechable</sub></b> =	Potencia aprovechable de un aerogenerador.	[W]
<b>Φ</b> =	Flujo luminoso	[lm]
<b>Q</b> =	Energía luminosa	[lm*s]
<b>t</b> =	tiempo	[s]
<b>ε</b> =	eficiencia luminosa	[lm/W]
<b>I</b> =	Intensidad luminosa	[cd]
<b>Ω</b> =	ángulo sólido	[sr]
<b>E</b> =	Iluminancia	[Lx]
<b>S</b> =	superficie donde incide el flujo luminoso	[m <sup>2</sup> ]
<b>L</b> =	Luminancia	[cd/m <sup>2</sup> ]
<b>U<sub>0</sub></b> =	Coefficiente e uniformidad global	[%]
<b>L<sub>min</sub></b> =	Luminancia mínima de una instalación	[cd/m <sup>2</sup> ]
<b>L<sub>med</sub></b> =	Luminancia media de una instalación	[cd/m <sup>2</sup> ]

<b>U<sub>L</sub></b> =	Coefficiente de uniformidad longitudinal	[%]
<b>L<sub>min.longitudinal</sub></b> =	Luminancia mínima longitudinal de una instalación	[cd/m <sup>2</sup> ]
<b>L<sub>med.longitudinal</sub></b> =	Luminancia máxima longitudinal de una instalación	[cd/m <sup>2</sup> ]
<b>f<sub>u</sub></b> =	Factor de utilización	[%]
<b>f<sub>u1</sub></b> =	factor utilización lado calzada	[%]
<b>f<sub>u2</sub></b> =	factor de utilización lado acera	[%]
<b>f<sub>m</sub></b> =	Factor de mantenimiento	[%]
<b>f<sub>pl</sub></b> =	Factor de posición lámpara	[%]
<b>f<sub>dl</sub></b> =	Factor depreciación lámpara	[%]
<b>f<sub>t</sub></b> =	Factor de temperatura	[%]
<b>f<sub>e</sub></b> =	Factor equipo de encendido	[%]
<b>f<sub>c</sub></b> =	Factor conservación de la instalación	[%]
<b>V</b> =	Factor de envejecimiento	[%]
<b>V<sub>la</sub></b> =	Factor de envejecimiento de la lámpara a un año	[%]
<b>V<sub>lu</sub></b> =	Factor de suciedad de la luminaria a un año	[%]
<b>CIE</b> =	Commission Internationale d'Eclairage	
<b>INN</b> =	Instituto Nacional de Normalización	
<b>CNE</b> =	Comisión Nacional de Energía	
<b>NCh</b> =	Norma Chilena	
<b>SFD</b> =	Sistemas Fotovoltaicos Domésticos	
<b>C.C.</b> =	Corriente continua	
<b>C.A.</b> =	Corriente Alterna	
<b>AGP</b> =	Aerogenerador pequeño.	
<b>Ni-Fe</b> =	Baterías de Níquel-Hierro	
<b>Ni-Cd</b> =	Baterías de Níquel-Cadmio	
<b>Ni-Mh</b> =	Baterías de Níquel-Hidruro metálico	
<b>Li-ion</b> =	Baterías de Iones de Litio	
<b>LiPo</b> =	Baterías de polímero de Litio	
<b>NNE</b> =	Norte Noreste	
<b>NE</b> =	Noreste	
<b>ENE</b> =	Este Noreste	
<b>E</b> =	Este	
<b>ESE</b> =	Este Sudeste	
<b>SE</b> =	Sudeste	
<b>SSE</b> =	Sur Sudeste	
<b>S</b> =	Sur	
<b>SSO</b> =	Sur Sudoeste	
<b>SO</b> =	Sudoeste	
<b>OSO</b> =	Oeste Sudeste	
<b>O</b> =	Oeste	
<b>ONO</b> =	Oeste Noroeste	
<b>NO</b> =	Noroeste	
<b>NNO</b> =	Norte Noroeste	
<b>N</b> =	Norte	
<b>Hse</b> =	Hora solar equivalente	
<b>LVSAP</b> =	Lámpara vapor de sodio alta presión	
<b>VSAP</b> =	Vapor de sodio alta presión	
<b>VAN</b> =	Valor Actual Neto	

## Capítulo 1:

# INTRODUCCIÓN

### 1.1 INTRODUCCION

El interés por evaluar y utilizar los recursos energéticos no tradicionales en nuestro país ha tenido un papel importante en la actualidad, acentuándose por las fluctuaciones de la disponibilidad y el aumento del costo de los recursos energéticos convencionales. Además se considera el carácter contaminante que produce éstos últimos al ambiente y que se ven reflejados en diversos acontecimientos ambientales provocados por el efecto invernadero. Todo esto genera una opinión pública a favor de las energías renovables.

El actual escenario energético del país hace necesario realizar distintas evaluaciones a los actuales sistemas de consumo energético existentes, para establecer su viabilidad en el tiempo. Así también para generar experiencia en proyectos similares a futuro.

Las energías renovables más populares son la eólica y solar, debido a su disponibilidad. Antes de implementar alguna tecnología existente para aprovechar estos tipos de energía renovables, se hace imperativo contar con un análisis técnico y económico para así respaldar la idea de implementación, constatar su viabilidad real y sustentabilidad. El desafío está en lograr aprovechar su potencial energético, que no es la misma en cualquier punto geográfico.

El puente Llacolén que cruza el río Bío-Bío, se encuentra en un área despejada que favorece la circulación libre de los vientos costeros, y además presenta incidencia de los rayos del sol durante gran parte del día.

Utilizar ambos recursos energéticos a la vez para producir energía eléctrica en aquel lugar será la alternativa a evaluar en el presente proyecto.

Se analizará la alternativa de instalar Luminarias LED alimentadas completamente de energía eólica y solar a lo largo del puente Llacolén, analizando su factibilidad técnica de funcionamiento autónomo a lo largo del año, y su factibilidad económica e inversión.

Se evaluarán postes híbridos existentes en el mercado y sus distintos componentes para asegurar una intensidad lumínica aceptable y una autonomía constante, evitando cortes por desabastecimiento energético que pueda ser causal de inseguridad en el tramo, tanto para peatones como para automovilistas.

## **1.2 OBJETIVO GENERAL**

Realizar un estudio técnico y económico para un diseño de luminaria pública autónoma de consumo híbrido aprovechando el potencial eólico y el potencial solar existente sobre el puente Llacolén.

## **1.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Exponer los fundamentos teóricos y técnicos pertinentes al tema en estudio.
- Recopilar datos históricos de vientos y radiación solar para el sector designado al estudio.
- Determinar el potencial eólico existente en dicha zona.
- Determinar el potencial solar existente en dicha zona.
- Realizar un diseño de iluminación híbrida autónoma.
- Analizar técnicamente el diseño, considerando la regulación urbana para alumbrado público.
- Realizar un estudio económico del diseño propuesto para establecer su viabilidad en el tiempo.

## **1.4 METODOLOGÍA**

El informe presentará en primera instancia un marco teórico sobre la energía eólica y la energía fotovoltaica, profundizando en los temas con directa relación en el análisis que se realizarán. Posteriormente se realizará un diseño de luminaria considerando las normativas de alumbrado público para establecer la intensidad lumínica aceptable.

Presentando el diseño propuesto, se procederá a determinar el potencial eólico y solar de dicho sector, utilizando para ello datos históricos de viento y radiación. Todo esto será la base para la memoria de cálculo de los componentes que permitirán el funcionamiento de una luminaria híbrida y autónoma.

Finalmente se analizará económicamente el proyecto para establecer su factibilidad.

## **1.5 ALCANCES**

El presente informe de habilitación profesional comprende un estudio teórico de factibilidad técnica y económica para llevar a cabo la instalación de luminarias híbridas en el puente Llacolén; considerando las variables pertinentes de dicho lugar, para diseñar un modelo de luminarias cuyos componentes de funcionamiento serán elegidos según los cálculos presentados en el desarrollo del informe.

## Capítulo 2:

# ENERGÍA FOTOVOLTAICA

### 2.1 RECURSO SOLAR

El sol, estrella más cercana a la Tierra, irradia  $1.74 \times 10^{14}$  kWh de energía por cada hora hacia el planeta. Es decir, la Tierra recibe  $1.74 \times 10^{17}$  W de potencia <sup>[12]</sup>. Esto debido a que el sol libera energía mediante un proceso de fusión nuclear. Ésta energía se transmite por radiación en forma de ondas electromagnéticas con distintas longitudes de onda, dentro de las cuales se encuentran la luz visible, los rayos UV y la radiación infrarroja.

Existen dos magnitudes utilizadas en el ámbito fotovoltaico: la irradiancia y la radiación, que describen fenómenos vinculados pero no equivalentes.

La irradiancia se define como la relación entre la potencia incidente por unidad de superficie, de cualquier onda electromagnética con la superficie que la recibe.

$$E_i = \frac{P_{inc}}{A} \quad (1)$$

Dónde:

$E_i$  =Irradiancia [ $\frac{W}{m^2}$ ]

$P_{inc}$  = Potencia incidente [W]

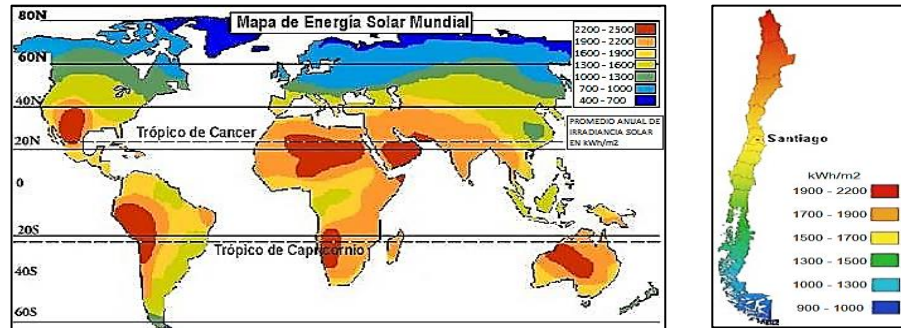
$A$  = Área de la superficie que recibe la radiación [ $m^2$ ]

La radiación, por otro lado, es la cantidad de irradiancia recibida en un tiempo determinado, por lo tanto es una medida de energía. En el medio fotovoltaico se utiliza la unidad [ $\frac{kWh}{m^2}$ ], para radiaciones diarias y anuales.

El lugar geográfico es uno de los factores más importantes en el momento de evaluar un proyecto utilizando la energía solar. Debido al movimiento de rotación y traslación que presenta la Tierra, la asignación de la energía solar que finalmente llega a la superficie es irregular. Por lo tanto, no se tendrán los mismos retornos en lugares con radiaciones muy distintas.



Figura 1 – Mapa de energía solar mundial y de Chile.



Fuente: Energías Renovables (2016)  
(<https://goo.gl/U1C61>)

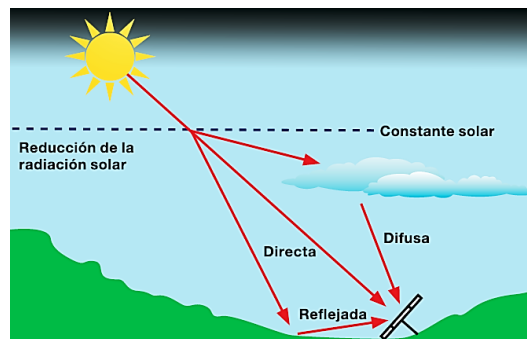
En la Figura 1 se destacan con colores azules aquellos lugares donde la radiación es baja y con colores rojo oscuro en donde es más alta.

Chile presenta condiciones favorables para la generación fotovoltaica. La zona norte presenta una de las mejores condiciones del mundo en términos de radiación solar, mientras que la zona sur-austral recibe aproximadamente la misma radiación que la zona centro de Europa, lo que no ha sido impedimento para el desarrollo de esta tecnología. <sup>[1]</sup>

### 2.1.1 Factores físicos determinantes de un lugar

La radiación solar que llega a la superficie terrestre se puede presentar de tres formas: radiación directa, radiación difusa y radiación reflejada.

Figura 2 – Formas de incidencia de la radiación solar en la Tierra.



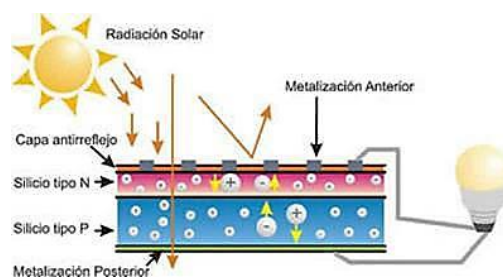
Fuente: Cámara Chilena de la Construcción (2013)  
(<https://goo.gl/rxodva>)

La radiación directa es aquella que llega a la tierra sin haber sufrido un cambio en su trayectoria desde el sol hasta la superficie terrestre. La radiación difusa es aquella que es dispersada por la interacción con la atmosfera aumentando ésta en días nublados. La radiación reflejada es la que generan la radiación directa y difusa cuando se reflejan en todas las superficies. La radiación solar global es la suma de estos tres tipos de radiación mencionados. [2]

## 2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA

Los paneles fotovoltaicos son uno de los sistemas más utilizados para producir electricidad directamente de la radiación solar. Están formados de una serie de celdas fotovoltaicas que convierten la energía de radiación solar compuesta de fotones, en energía eléctrica. Para realizar esto las celdas ocupan el efecto fotovoltaico, el cual consiste en la emisión de electrones en un metal cuando se hace incidir sobre él algún tipo de radiación electromagnética, como la solar. Entonces se producen cargas negativas y positivas en dos semiconductores próximos de diferente tipo, denominados silicio tipo N y silicio tipo P. [3]

Figura 3 – Efecto fotovoltaico.



Fuente: Depto. Ing. Eléctrica. PUC (2016)  
 (<https://goo.gl/h0Y6XZ>)

El silicio tipo N es una lámina de silicio cristalino, al cual se le han añadido impurezas de átomos de origen metaloide. Estos átomos se integran a la estructura del silicio enlazando sus electrones a ésta, pero dejando otros libres dentro de la estructura cristalina convirtiéndola en un material semiconductor.

El silicio tipo P es otra lamina de silicio cristalino, al cual se le han agregado impurezas de átomos que al enlazar sus electrones a la estructura de silicio, queda con déficit de electrones en sus enlaces. De esa forma el material adquiere propiedades semiconductoras, debido al exceso de cargas positivas que provoca la falta de electrones en su estructura cristalina.

La interacción de estas láminas al ser excitadas con radiación solar, produce un campo electromagnético capaz de generar corriente eléctrica. [4]

## 2.3 COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

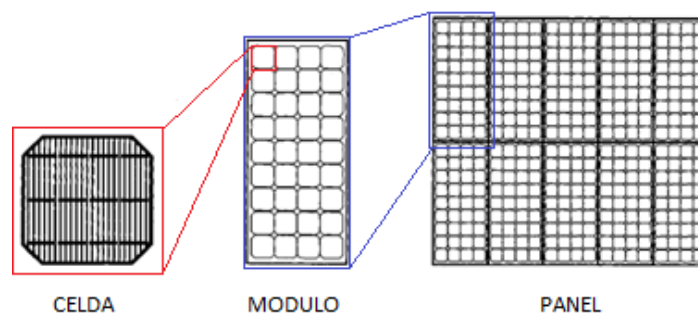
Los sistemas fotovoltaicos están formados, dependiendo de la configuración y del tipo de cargas que se le conectarán, por los siguientes subsistemas.

### 2.3.1 Panel fotovoltaico

Los paneles fotovoltaicos están formados por un conjunto de módulos, los que a su vez contienen celdas fotovoltaicas interconectadas entre sí, pudiendo estar en serie y/o en paralelo con el objetivo de obtener voltajes de operación adecuados a la aplicación. En la conexión en paralelo se conectan todos los polos positivos de los módulos, y todos los polos negativos de éstos, manteniendo el voltaje y sumando las intensidades. Por otro lado, en la conexión en serie se conectan el polo positivo de un módulo con el polo negativo del módulo siguiente, manteniendo la intensidad y sumando su voltaje. <sup>[45]</sup>

Las series de celdas se encapsulan habitualmente entre vidrio y/o películas poliméricas como poliéster. Para su sellado frente a la humedad, se utilizan acetato de vinil etileno o resinas de silicona, y si es necesario se instalan sobre un marco metálico para dar rigidez al módulo. <sup>[2]</sup>

Figura 4 – Denominación de distintos tipos de agrupación de Celdas fotovoltaicas.

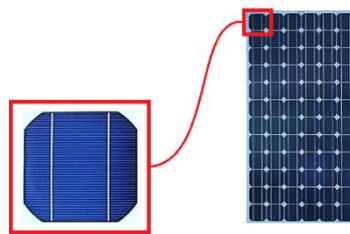


Fuente: Modificado de memoria  
 “estudio de pre-factibilidad de utilización de energía fotovoltaica en la VIII región” (2013) <sup>[5]</sup>

### 2.3.1.1 Celdas de Silicio mono-cristalino

Se componen de secciones de un único cristal de Silicio de alta pureza, esto debido a la disposición ordenada y periódica de sus átomos, que están simétricamente dispuestos para obtener una orientación cristalina. Presentan un color azulado oscuro y con un cierto brillo metálico. La eficiencia de conversión de energía de este tipo de celdas está en el rango de 14-18%.<sup>[5]</sup>

Figura 5 – Celda de Silicio mono-cristalino y módulo.

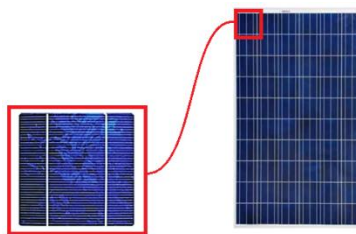


Fuente: Modificado de Sunflower solar (2016)  
(<https://goo.gl/d8sLrZ>)

### 2.3.1.2 Celdas de Silicio poli-cristalino

Se compone de pequeñas partículas cristalizadas. Son aquellas obtenidas a partir de procesos que no necesitan un control exhaustivo de la temperatura en la solidificación del material de Silicio ni un crecimiento controlado de su red cristalina. Se les da el nombre de poli-cristalinas, pues la solidificación no se hace en un solo cristal, sino en múltiples. La eficiencia de conversión de energía es de 12,7-13,7%.<sup>[5]</sup>

Figura 6 – Celda de Silicio poli-cristalino y módulo.

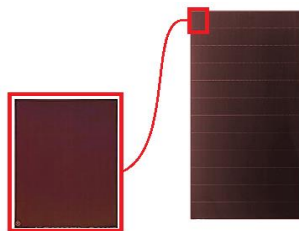


Fuente: Modificado de Sunflower solar (2016)  
(<https://goo.gl/d8sLrZ>)

### 2.3.1.3 Celdas de Silicio amorfo

Se componen de Silicio no cristalizado. Estas celdas tienen la ventaja de ser más económicas, debido a la facilidad de su fabricación en masa, y también debido a que en su fabricación se utiliza menos material base <sup>[2]</sup>. El espesor del material a utilizar puede llegar a ser 50 veces menor que el equivalente en Silicio mono-cristalino. La eficiencia de conversión de energía es de 5-7%. <sup>[13]</sup>

Figura 7 – Celda de Silicio amorfo.



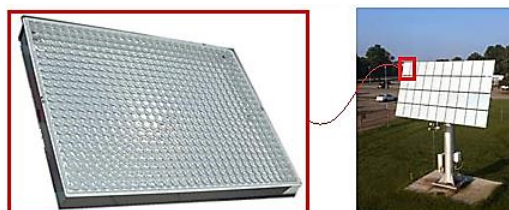
Fuente: Modificado de Sunflower solar (2016)  
(<https://goo.gl/d8sLrZ>)

### 2.3.1.4 Celdas de Arseniuro de Galio

Estas celdas, a diferencia de las que contienen silicio, son capaces de absorber más luz solar y además disipa el calor mucho mejor. Para capturar una gama más amplia del espectro solar, los paneles solares tienen 3 capas de celdas solares de arseniuro de galio, cada capa modificada para convertir una parte diferente del espectro en electricidad. <sup>[6]</sup>

Poseen un rendimiento teórico de 27-28% en su versión mono-cristalina. Sin embargo, el uso masivo de esta tecnología se ve limitado por el elevado costo de producción de la materia prima, haciendo que su precio no sea competitivo a las tecnologías utilizadas actualmente. <sup>[2]</sup>

Figura 8 – Celda de arseniuro de galio y módulo.



Fuente: Depto. Ing. Eléctrica. PUC (2016)  
(<https://goo.gl/RAqFEQ>)

### 2.3.2 Baterías

Las instalaciones deben ir acompañadas de una o varias baterías que sean capaces de cubrir los requerimientos de consumo diarios. Estas almacenan electricidad para ser utilizada cuando se requiera satisfacer la demanda energética de las cargas asociadas a la instalación.

La capacidad de las baterías se evalúa en Ampere por hora [Ah], y la forma de dimensionarla con respecto a una instalación viene dada por la siguiente ecuación:

$$CAP_{batería} = \frac{Demanda_{max} * Dias_{aut}}{P_d * V_{sist}} \quad (2)$$

Dónde:

$CAP_{batería}$  = Capacidad de la batería [Ah].

$Demanda_{max}$  = Demanda máxima de consumo diario [ $\frac{Wh}{día}$ ].

$Dias_{aut}$  = Días de autonomía de la instalación [días]

$P_d$  = Profundidad de descarga.

$V_{sist}$  = Tensión del sistema generador de energía [Volt].

La batería proporciona voltaje de corriente continua por lo cual necesita una fuente de CC para ser cargadas <sup>[2]</sup>. Existen distintos tipos de baterías explicadas a continuación.

#### 2.3.2.1 Clasificación según sus componentes internos

- Baterías de plomo-Acido

Este tipo de baterías están conformadas por dos electrodos de plomo, y suele utilizarse en los automóviles.

En el proceso de carga, el sulfato de plomo se convierte en plomo metal en el cátodo o polo negativo. Por otra parte, en el polo positivo o ánodo se produce la formación de óxido de plomo.

En el proceso de descarga, los procesos mencionados anteriormente se llevan a cabo de forma invertida. De esta manera el óxido de plomo se reduce a sulfato de plomo, y en el ánodo el plomo comienza a oxidarse, convirtiéndose en sulfato de plomo.

Sin embargo este tipo de transformación no puede ser repetido de manera indefinida. Luego de un tiempo, el sulfato de plomo forma cristales, y no es posible realizar el proceso de manera reversible. Es en ese momento cuando la batería se ha sulfatado y ya no es posible volver a emplearla. <sup>[7]</sup>

- Baterías de Níquel-Hierro (Ni-Fe)

Esta batería se conforma por filas de tubos compuestos por acero niquelado, los cuales contienen hidróxido de níquel. El polo positivo contiene acero niquelado con polvo de óxido ferroso.

Las baterías de níquel son de fabricación simple, bajo costo y pueden sobrecargarse o descargarse reiteradas veces sin por ello perder su capacidad. Sin embargo, Debido a su mala retención de carga y el alto costo de producción, otros tipos de baterías recargables han desplazado a la batería de níquel-hierro en la mayoría de las aplicaciones. <sup>[7]</sup>

- Baterías de Níquel-Cadmio (Ni-Cd)

Esta clase de batería funciona a partir de un ánodo de cadmio y un cátodo compuesto por hidróxido de níquel. Por su parte, el electrolito se conforma de hidróxido de potasio. Pueden ser recargadas una vez gastadas, aunque disponen de poca capacidad.

Estas baterías admiten un gran rango de temperaturas de funcionamiento y sobrecargas, se pueden seguir cargando cuando ya no admiten más carga, aunque no la almacena. <sup>[7]</sup>

- Baterías de Níquel-Hidruro metálico (Ni-Mh)

Estas baterías emplean un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo compuesto por una aleación de hidruro metálico. Son reacias al contacto con las bajas temperaturas, disminuyendo en gran parte su eficacia. <sup>[7]</sup>

- Baterías de Iones de Litio (Li-ion)

Esta batería dispone de un ánodo de grafito, mientras que el cátodo funciona a partir de óxido de cobalto, óxido de manganeso o trifilina (mineral fosfato). No permiten la descarga y son capaces de alcanzar potencias elevadas, pero se ven afectadas por los cambios de temperatura. <sup>[7]</sup>

Entre sus ventajas está el que apenas sufren el efecto memoria y pueden cargarse sin necesidad de estar descargadas completamente, sin reducción de su vida útil. <sup>[8]</sup>

- Baterías de polímero de Litio (LiPo)

Estas baterías cuentan con características análogas a las baterías de iones de litio, aunque su densidad es mayor. Son de tamaño reducido por lo que suelen utilizarse en pequeños equipos. <sup>[7]</sup>

### **2.3.2.2 Clasificación según su régimen de descarga**

Básicamente, hay dos tipos de baterías: de arranque y de descarga profunda; ésta última también denominada de ciclo profundo.

- Baterías de arranque

Están diseñadas para entregar grandes cantidades de energía en muy poco tiempo. Las placas son más finas pero hay más cantidad, además tienen una composición química ligeramente diferente. Estas baterías no admiten una gran descarga y por lo tanto deben mantenerse siempre con el máximo de carga. <sup>[9]</sup>

- Baterías de descarga profunda

Estas baterías no pueden suministrar tanta energía instantánea como las de arranque, pero son capaces de aguantar descargas de mucha mayor duración.

Las baterías de ciclo profundo poseen placas reforzadas para evitar su agotamiento prematuro y poder soportar mejor la exigencia del ciclo. <sup>[9]</sup>

### **2.3.2.3 Conexión de Baterías**

Se dispone de tres formas para conectar un grupo de baterías entre sí. En serie, en paralelo o una conexión mixta serie-paralelo. Dependiendo como se conecten, se incrementará la tensión total (Voltaje), la intensidad de corriente (Amperios), o las dos.

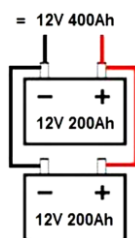
Es esencial que todas las baterías implicadas en la conexión sean idénticas y todos se enfrenten al mismo grado de carga, con cables eléctricos cortos, de igual longitud y de sección adecuada. <sup>[10]</sup>

- Conexión en paralelo

La conexión en paralelo de dos (o más) baterías iguales permite obtener una salida de dos (o más) veces la capacidad de las baterías individuales, manteniendo el mismo voltaje nominal. La capacidad identifica la máxima cantidad de carga que puede almacenarse (Ah). <sup>[10]</sup>



Figura 9 – Conexión en paralelo.



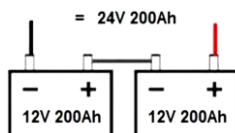
Fuente: *Baterías y amperios* (2016)  
(<https://goo.gl/4khShp>)

- Conexión en serie

La conexión en serie de dos (o más) baterías iguales permite obtener una salida doble (o más) de la tensión nominal de baterías individuales, manteniendo la misma capacidad.

En los generadores eólicos y paneles fotovoltaicos, mayor es la tensión de corriente continua para cargar las baterías, y más pequeñas las pérdidas de energía a lo largo de los cables. <sup>[10]</sup>

Figura 10 – Conexión en serie.

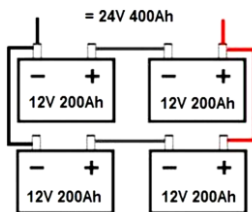


Fuente: *Baterías y amperios* (2016)  
(<https://goo.gl/4khShp>)

- Conexión en serie-paralelo

La combinación de la conexión en paralelo con la conexión en serie dará una duplicación de la tensión nominal, y de la capacidad. <sup>[10]</sup>

Figura 11 – Conexión en serie-paralelo.



Fuente: *Baterías y amperios* (2016)  
(<https://goo.gl/4khShp>)

### 2.3.3 Regulador de Carga

El regulador de carga (o controlador de carga) es un sistema electrónico encargado de la protección de las baterías frente a sobrecargas y descargas profundas. Controla constantemente el estado de carga de las baterías y regula la intensidad de carga de las mismas para alargar su vida útil.

La regulación de la intensidad de carga de las baterías funciona de tres maneras: igualación, carga profunda, y flotación.

En la etapa de igualación, el controlador realiza un proceso de igualar las cargas de los acumuladores tras un periodo de tiempo en el que el estado de carga ha sido bajo. Tras la igualación, el sistema permite la entrada de corriente de carga a los acumuladores sin interrupción hasta alcanzar el punto de tensión final de carga. En la etapa de flotación, el controlador inyecta una corriente pequeña para mantener los acumuladores a plena carga, esto para compensar la auto descarga de las baterías. <sup>[5]</sup>

Existen dos tipos de reguladores:

- Reguladores PWM

Un regulador PWM (pulse width modulation) es un regulador sencillo que actúa como un interruptor entre los componentes generadores y la batería. Conectados a un regulador PWM, los módulos fotovoltaicos están forzados a trabajar a la tensión de la batería, lo que resulta en pérdidas de rendimiento respecto al punto de máxima potencia de los módulos. En cuanto se llenan las baterías, el regulador empieza a cortar parte de la posible producción de los módulos, para que no se sobrecargue la batería.

Las ventajas de este tipo de regulador son la sencillez, reducido peso y precio. La desventaja principal es la baja de rendimiento con respecto al siguiente tipo de reguladores. <sup>[48]</sup>

- Reguladores MPPT

Un regulador MPPT (máximo power point tracking) lleva incorporado un seguidor del punto de máxima potencia y un convertidor CC-CC de más alta tensión a una de menor tensión, para así cargar las baterías. El MPPT se encarga de trabajar en la entrada de los módulos fotovoltaicos a la tensión que más conviene, para sacar la máxima potencia o para limitar la potencia en la fase de flotación. <sup>[48]</sup>

### 2.3.4 Inversor de corriente

El inversor es un dispositivo electrónico que tiene por función transformar la corriente eléctrica continua (CC), proporcionada por los paneles fotovoltaicos, en corriente alterna (CA). La corriente continua produce un flujo de corriente en una sola dirección, mientras que la corriente alterna cambia rápidamente la dirección del flujo de corriente de una parte a otra.

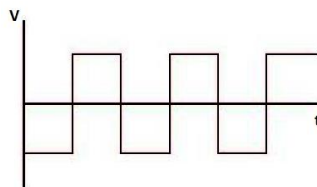
Un inversor CC-CA, está compuesto de unos transistores capaces de cortar en un segundo muchas veces la corriente que recibe, consiguiendo simular el comportamiento de la corriente alterna. Su clasificación dependerá del tipo de onda producido, explicadas a continuación. <sup>[2]</sup>

- Inversor de onda cuadrada

Estos inversores funcionan haciendo pasar la corriente a través de un transformador, primero en una dirección y luego en otra. El dispositivo de conmutación que cambia la dirección de la corriente actúa de forma casi instantánea, de manera que la forma de onda del secundario es cuadrada.

Los inversores de onda cuadrada son más baratos, pero normalmente son también los menos eficientes. <sup>[2]</sup>

Figura 12 – Onda cuadrada.

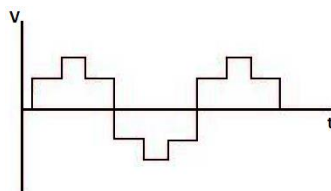


Fuente: Elaboración propia (2016)

- Inversor de onda senoidal modificada

En los inversores de onda senoidal modificada, el ancho de la onda es modificada para acercarla lo más posible a una onda senoidal. <sup>[2]</sup>

Figura 13 – Onda senoidal modificada.

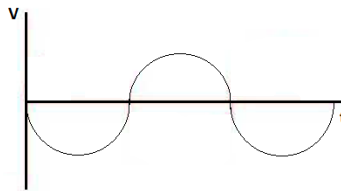


Fuente: Elaboración propia (2016)

- Inversor de onda senoidal

En los inversores de onda senoidales se puede conseguir una onda senoidal pura, con una eficiencia del 90% o más, dependiendo de la potencia. Este tipo de inversor se utiliza en instalaciones con alta exigencia de calidad de onda, como motores de inducción sofisticados. Es por ello que el costo de estos inversores resulta mayor que los otros dos tipos de inversores. <sup>[2]</sup>

Figura 14 – Onda senoidal.



Fuente: Elaboración propia (2016)

### 2.3.5 Conductores eléctricos

El cableado como en todo sistema eléctrico, debe estar diseñado para soportar los requerimientos de corriente y de voltaje de las cargas para no afectar el funcionamiento de éstas. Los conductores en un sistema fotovoltaico deben cumplir con las mismas normas que un sistema eléctrico tradicional, esto es: corriente de transporte, caída de tensión, corriente de cortocircuito, etc. Para ello las secciones de los conductores utilizados deben calcularse en función de la máxima potencia de pérdidas para la instalación. Estos deben tener una sección adecuada para reducir las caídas de tensión y los sobrecalentamientos.

La caída de tensión de un sistema es regulado de la Norma Chilena NCh2896.Of2004. Para cualquier condición de trabajo, los conductores deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior, incluyendo cualquier terminal intermedio, a los valores especificados a continuación: <sup>[5]</sup>

- Caída de tensión máximas entre generador y regulador/inversor: 3%
- Caída de tensión máxima entre regulador y batería: 1%
- Caída de tensión máxima entre regulador e inversor: 1%
- Caída de tensión máxima entre inversor y batería: 1%
- Caída de tensión máxima entre inversor/regulador y carga: 3%

Para determinar la sección del cable conductor en mm<sup>2</sup> se utiliza la siguiente fórmula <sup>[11]</sup>:

$$S = \frac{2 * L * I}{K * \Delta V} \quad (3)$$

Dónde:

S= Sección del cable conductor [mm<sup>2</sup>]

L = Largo del cable [m]

I = Intensidad de corriente que circula por el cable [A]

K= Conductividad eléctrica del material [ $\frac{m}{\Omega * mm^2}$ ]

$\Delta V$ = Caída de tensión desde el principio hasta el fin de la línea [Volt]

Mientras el conductor eléctrico se encuentre en uso constante, éste se va a calentar por efecto Joule al transportar la corriente, debido a esto la temperatura del conductor puede ser superior a 50 °C, e incluso hasta 90 °C en situaciones extremas. <sup>[46]</sup>

Para el cobre (material usado en conductores eléctricos), la conductividad eléctrica del material está dada según su temperatura: <sup>[47]</sup>

Tabla 1 – Conductividad eléctrica del Cobre.

COBRE:

Temperatura del conductor	Conductividad eléctrica del material
[°C]	[m/Ω*mm <sup>2</sup> ]
20	58
70	48.47
90	45.49

Fuente: Modificado de Conductividad del Cu y Al para cálculos eléctricos (2016)  
(<https://goo.gl/sdrxwv>)

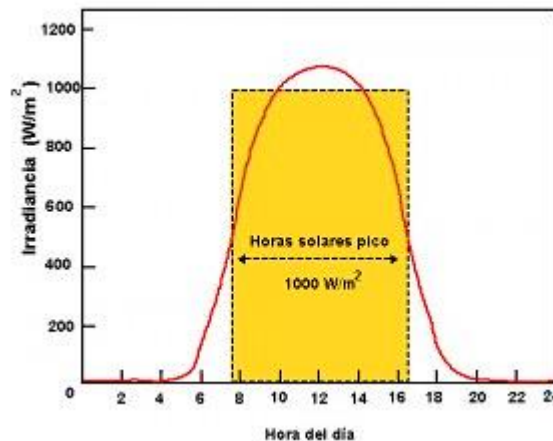
## 2.4 POTENCIAL SOLAR

La irradiancia en la parte externa de la atmosfera terrestre es de  $1366 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$ , valor que se conoce como constante solar. Sin embargo, debido a la reflexión, difusión y absorción que realizan los elementos presentes en la atmosfera, la potencia que llega a nivel del mar es menor a la constante solar, siendo de aproximadamente  $1000 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$  en un día despejado. Este es un valor de referencia en la ingeniería relacionada con la energía solar. <sup>[1]</sup>

Para determinar el potencial solar y facilitar el proceso de cálculo en las instalaciones fotovoltaicas, se emplea un concepto relacionado con la radiación solar, denominado “horas solar equivalente” (Hse). (Hora solar pico HSP)

Se denomina Hse al número de horas diarias que, con una irradiancia solar ideal de  $1000 \text{ W/m}^2$  proporciona la misma irradiancia solar total que la real de ese día.

Figura 15 – Irradiancia y Hse en un día despejado.



Fuente: Calculation solar (2013)  
(<https://goo.gl/DzEgju>)

Una hora solar equivalente es la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de  $1 \left[ \frac{kW}{m^2} \right]$ . Es decir,  $1 \left[ \frac{kWh}{m^2} \right]$  es igual a 1Hse.

La radiación diaria promedio para cada mes del año, comúnmente expresada como Hse, se utiliza para dimensionar sistemas fotovoltaicos. <sup>[5]</sup>

### 2.4.1 Orientación de los paneles Fotovoltaicos

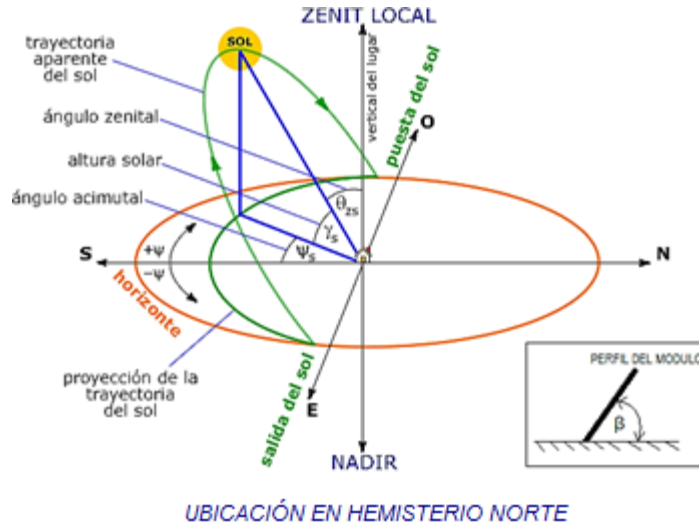
Los paneles fotovoltaicos generan energía eléctrica de manera proporcional a la cantidad de radiación recibida. Mientras mayor sea la energía irradiada sobre el panel, mayor será la cantidad de energía eléctrica que se obtenga. Es por esto que es importante la elección adecuada de los ángulos de instalación de un panel fotovoltaico.

Las mejores condiciones de funcionamiento para un panel estarán dadas en días despejados, con alto nivel de irradiación directa, con la superficie captadora perpendicular al sol, sin objetos que se interpongan en la trayectoria de la luz y que afecten el funcionamiento como sombras, suciedad, etc. y con amplios periodos de insolación.

A continuación se describen los ángulos y su nomenclatura, utilizados en energía solar.

- Zenit ( $\theta_{zs}$ ): Ángulo comprendido entre la vertical del lugar y los rayos del sol perpendiculares al plano de estudio, es decir, con el panel solar.
- Altura solar ( $\gamma_s$ ): Ángulo que forma el plano horizontal del suelo con los rayos solares perpendiculares al plano de estudio.
- Azimut ( $\psi_s$ ): Ángulo proyectado entre una línea recta desde la posición aparente del sol hasta el punto de observación y el Sur, medido desde el Sur en el hemisferio Norte, y desde el Norte en el hemisferio Sur. Siendo negativo para el Este y positivo para el Oeste.
- Ángulo de inclinación superficie panel ( $\beta$ ): Corresponde al ángulo que se genera entre una superficie horizontal y el panel solar. <sup>[2]</sup>

Figura 16 – Ángulos de inclinación para paneles solares.



UBICACIÓN EN HEMISTERIO NORTE  
 Fuente: Modificado de Avengoa (2016)  
 (<https://goo.gl/6dv7IP>)

El movimiento terrestre alrededor del sol hace que existan también variaciones estacionales, ocasionando que el ángulo de altura solar varíe en verano y en invierno. En verano, los paneles solares deberían ser colocados en posición ligeramente más horizontal para aprovechar al máximo la luz solar. Sin embargo, los mismos paneles no estarán, en posición óptima para el sol del invierno. Por ello, las grandes instalaciones fotovoltaicas poseen un sistema de seguimiento continuo y automatizado de la trayectoria solar. No así para instalaciones menores.

En instalaciones aisladas se prioriza el suministro de electricidad durante todo el año. Por lo que se requiere la máxima captación en invierno, ya que presentan menor radiación solar. <sup>[5]</sup>

Para posicionar un panel fotovoltaico, se utilizan tablas y mapas de radiación horizontal e inclinada específicas del lugar en estudio, estas tablas son proporcionadas entre otras entidades, por la NASA, para diferentes regiones y épocas del año.



## 2.4.2 Factores que afectan el rendimiento de los paneles solares

El rendimiento que presentan los paneles solares puede verse afectado por factores externos e internos. A continuación se presentan algunos factores que generan pérdidas.

- Energía de los fotones

Para generar la excitación de los paneles fotovoltaicos, es necesario que los fotones de luz que llegan a la celda tengan una determinada energía. En la radiación solar, una parte de los fotones incidentes no tienen energía necesaria, por lo que se pierden, y otros tienen una energía mayor, por lo que también se pierde ese exceso.

- Reflexión

Una parte de la luz que incide sobre la celda es reflejada por la superficie de ésta, por lo que se pierde. Para minimizar esta pérdida, se emplean capas anti reflectantes y superficies rugosas en los paneles.

- Sombra

Las pérdidas por la sombra son un factor que afecta notablemente el desempeño de las celdas solares y en especial, a los módulos con celdas en serie. En una celda que se encuentre en serie con las otras y a la vez sombreada, no logra generar la misma corriente que sus similares y, por lo tanto, no deja pasar el flujo de corriente afectando al módulo completo de la misma manera que la celda individual. Esta celda sombreada a la vez disipa la corriente en forma de calor, por lo cual incrementa su temperatura. Esto genera una disminución del rendimiento del módulo. <sup>[2]</sup>

- Temperatura

La temperatura de trabajo de una celda fotovoltaica afecta directamente su operación. Un día frío es más ventajoso para la operación de un panel solar. Es importante colocar los paneles en un lugar aireado, ya que la potencia del panel disminuye al aumentar la temperatura de trabajo del mismo. El aumento de la temperatura en las celdas FV supone un incremento de corriente, pero al mismo tiempo una disminución de la tensión. <sup>[5]</sup>

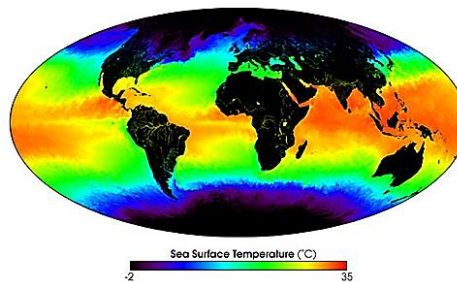
## Capítulo 3: ENERGÍA EÓLICA

### 3.1 RECURSO EÓLICO

Todas las fuentes de energía renovables (excepto la mareomotriz y la geotérmica) provienen, en último término del sol. Alrededor de un 1% a un 2% de la energía proveniente del sol es convertida en energía eólica.

Las regiones alrededor de la línea del Ecuador son calentadas por el sol más que las zonas del resto del planeta. En la siguiente figura se aprecia que las áreas calientes están indicadas en colores cálidos.

Figura 17 – Sectores de mayor temperatura en el planeta.

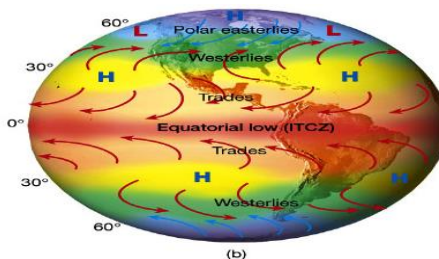


Fuente: NASA, NOAA-7  
(<https://goo.gl/PE4y8z>)

El aire caliente es más ligero que el aire frío, por lo que en la Línea del Ecuador subirá hasta alcanzar una altura aproximada de 10km y se extenderá hacia el norte y hacia el sur.

Debido a la rotación de la Tierra, cualquier movimiento en el hemisferio norte es desviado hacia la derecha, vista desde la propia Tierra. Ocurre lo mismo en el hemisferio sur, pero hacia la izquierda. Esta aparente fuerza de curvatura es conocida como fuerza de Coriolis. <sup>[14]</sup>

Figura 18 – Efecto de la fuerza de Coriolis en los vientos globales.



Fuente: Textos científicos (2013)  
(<https://goo.gl/PE4y8z>)

Alrededor de los 30° de latitud en ambos hemisferios la fuerza de Coriolis evita que el aire se mueva mucho más lejos. A esta latitud hay un área de alta presión, ya que el aire comienza descender nuevamente.

A medida que el viento se eleva desde el ecuador habrá un área de baja presión cerca del nivel del suelo atrayendo los vientos del Norte y del Sur. En los polos, habrá una alta presión debido al enfriamiento del aire. <sup>[15]</sup>

### **3.1.1 Factores físicos determinantes de un lugar**

Los vientos que han sido considerados anteriormente no están muy influenciados por la superficie de la tierra, ya que se encuentran a altitudes por encima de 1000 metros sobre el nivel del suelo. Sin embargo, a altitudes de hasta 100 metros, los vientos son mucho más influenciados por la superficie terrestre. El viento es frenado por la rugosidad de la superficie y de los obstáculos. Las direcciones del viento cerca de la superficie serán un poco diferentes de la dirección de los vientos globales.

Los vientos locales siempre se superponen a los sistemas de viento de mayor escala, es decir, la dirección del viento está influenciada por la suma de los efectos globales y locales. Cuando los vientos a gran escala son suaves, los vientos locales pueden dominar los patrones de viento del lugar.

Durante el día, las masas de tierra se calientan por el sol más rápidamente que el mar. El aire sube, circula hacia el mar, y crea una baja presión a nivel del suelo que atrae el aire fresco del mar. Esto se conoce como brisa marina.

Por la noche el viento sopla en la dirección opuesta, presentando menores velocidades de viento debido a que la diferencia de temperatura entre la tierra y el mar es más pequeña; o bien, suele haber un período de calma cuando las temperaturas de la tierra y el mar son iguales. <sup>[15]</sup>

### 3.1.1.1 Rugosidades del terreno

La velocidad del viento está influenciada por la altura y por la rugosidad del terreno. A una gran altura de la superficie del suelo, alrededor de un kilómetro, la superficie terrestre apenas ejerce influencia alguna sobre el viento. Sin embargo, en las capas más bajas de la atmósfera, las velocidades del viento se ven afectadas por la fricción con la superficie terrestre.

El hecho de que el perfil del viento disminuya hacia velocidades más bajas conforme nos acercamos al nivel del suelo suele llamarse cizallamiento del viento. En general, cuanto más pronunciada sea la rugosidad del terreno, mayor será la ralentización que experimente el viento.

Los bosques y las grandes ciudades ralentizan mucho el viento, mientras que las pistas de hormigón de los aeropuertos sólo lo ralentizan ligeramente. Las superficies de agua son incluso más lisas que las pistas de hormigón, y tendrán por tanto menos influencia sobre el viento, mientras que los arbustos ralentizan el viento de forma considerable. <sup>[14]</sup>

La industria eólica, considera la clase de rugosidad o longitud de rugosidad cuando se trata de evaluar las condiciones eólicas de un paisaje. El término longitud de rugosidad es en realidad la distancia sobre el nivel del suelo a la que teóricamente la velocidad del viento debería ser nula.

El Atlas Eólico Europeo (Risoe National Laboratory, 1989) define la clase de rugosidad a partir de la longitud de rugosidad medida en metros,  $Z_0$ , es decir, la altura sobre el nivel del suelo donde la velocidad del viento es teóricamente cero. <sup>[16]</sup>

Tabla 2 – Clases y Longitud de rugosidad.

<b>Clase de rugosidad</b>	<b>Longitud de rugosidad (m)</b>	<b>Tipo de Paisaje</b>
0	0.0002	Superficie del agua
0.5	0.0024	Terreno completamente abierto con una superficie lisa, por ejemplo, pistas de hormigón, aeropuertos, césped cortado, etc.
1	0.03	Área agrícola abierta sin cercados ni setos y con edificios muy dispersos Solo colinas suavemente redondeadas.
1.5	0.055	Terreno agrícola con algunas casas y setos de 8 m de altura con una distancia aproximada de 1250m.
2	0.1	Terreno agrícola con algunas casas y setos de 8m de altura con una distancia aproximada de 500m
2.5	0.2	Terreno agrícola con muchas casas, arbustos y plantas, o setos de 8m de altura con una distancia aproximada de 250m.
3	0.4	Pueblos, ciudades pequeñas, terreno agrícola, con muchos o altos setos, bosques y terreno accidentado y muy desigual.
3.5	0.8	Ciudades más grandes con edificios altos.
4	1.6	Ciudades muy grandes con edificios altos y rascacielos.

Fuente: Atlas Eólico Europeo, WAsP (1989)

(<https://goo.gl/8Moi3F>)

La longitud de rugosidad se utiliza para determinar la velocidad del viento a una cierta altura sobre el nivel del suelo, a través de la fórmula del perfil vertical del viento, que se define como:

$$v = v_{ref} * \frac{\ln \frac{h}{h_0}}{\ln \frac{h_{ref}}{h_0}} \quad (4)$$

Dónde:

$v$  = Velocidad del viento a una altura  $h$  sobre el nivel del suelo, que se desea estimar [ $m \cdot s^{-1}$ ]

$v_{ref}$  = Velocidad del viento a la altura de referencia  $h_{ref}$  [ $m \cdot s^{-1}$ ]

$h_{ref}$  = Altura de referencia. Altura sobre el nivel del suelo conocida, para  $v_{ref}$  [m]

$h$  = Altura sobre el nivel del suelo para la velocidad deseada  $v$  [m]

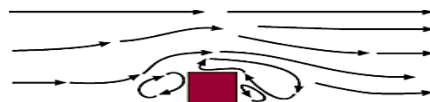
$h_0$  = Longitud de rugosidad del terreno determinada por la Tabla 1. [m]

Para utilizar esta fórmula se consideran condiciones de estabilidad atmosférica neutra, es decir, que la superficie del suelo no estará a una temperatura muy diferente a la del aire. <sup>[17]</sup>

### 3.1.1.2 Turbulencias por obstáculos

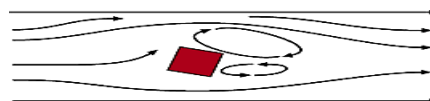
Los obstáculos que afectan al viento, tales como edificios, arboles, formaciones rocosas, etc., pueden disminuir su velocidad de forma significativa y a menudo crean turbulencias en torno a ellos.

Figura 19 – Vista lateral de la corriente del viento alrededor de un obstáculo.



Fuente: Proyecto Aeolus (2016)  
(<https://goo.gl/TGRzHI>)

Figura 20 – Vista superior de la corriente de aire alrededor de un obstáculo.



Fuente: Proyecto Aeolus (2016)  
(<https://goo.gl/TGRzHI>)

Las figuras muestran el comportamiento típico de corrientes de viento alrededor de un obstáculo, la zona de turbulencias puede extenderse hasta una altura alrededor de 3 veces superior a la altura del obstáculo. <sup>[14]</sup>

### 3.1.1.3 Efectos aceleradores del viento

- Efecto túnel

La velocidad del viento tiende a ser mayor entre dos edificios altos o en un paso estrecho entre montañas. Esto es debido a que el aire se comprime en la parte de los edificios o de la montaña que está expuesta al viento, y su velocidad crece considerablemente entre los obstáculos, siguiendo un comportamiento similar al del tubo de Venturi.

Se debe considerar que el área del efecto túnel sea suavemente enclavado en el paisaje, ya que en el caso de que sea muy accidentada, puede generar mucha turbulencia. Esto puede causar roturas y desgastes mecánicos innecesarios en las máquinas utilizadas para aprovechar la energía del viento. <sup>[18]</sup>

Figura 21 – máquina eólica entre montañas.

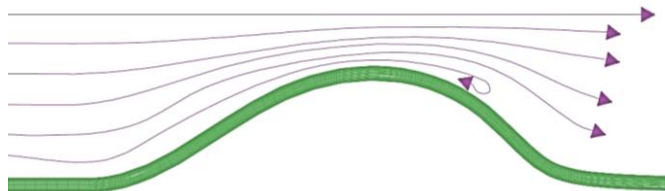


Fuente: Windpower (2003)  
(<https://goo.gl/Ai2qs>)

- Efecto de la colina

Se pueden apreciar velocidades de viento superiores en las colinas que en las áreas circundantes. Esto es debido a que el viento es comprimido en la parte de la montaña que da al viento, y cuando el aire alcanza la cima de la colina puede volver a expandirse al descender hacia la zona de bajas presiones por la ladera posterior de la colina. <sup>[14]</sup>

Figura 22 – Efecto de la colina.

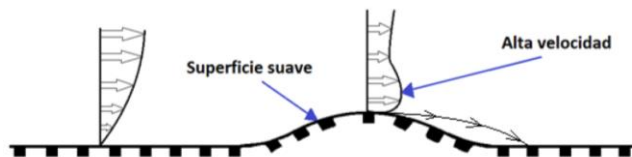


Fuente: Proyecto Aeolus (2016)  
(<https://goo.gl/TGRzHl>)

Si la colina es escarpada o presenta una superficie accidentada, puede haber una cantidad de turbulencias significativa que podría anular la ventaja de tener velocidades de viento mayores. <sup>[14]</sup>

Junto a lo anterior se puede analizar la prospección eólica, que describe las características de los sitios de energía eólica.

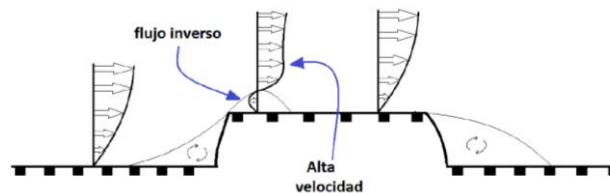
Figura 23 – Colina o loma redondeada de cima pequeña.



Fuente: Elaboración propia

La cima de la colina se presenta una velocidad de viento alta por lo cual es un sitio apropiado para aprovechar su energía.

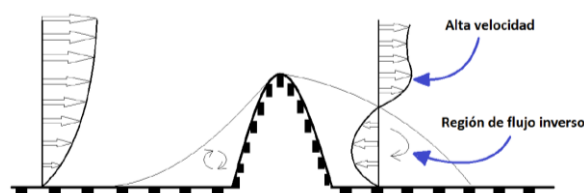
Figura 24 – Colina o loma con laderas abruptas y una gran cima plana.



Fuente: Elaboración propia

Las colinas con pendientes abruptas o accidentadas pueden presentar turbulencias por lo que son sitios inapropiados para aprovechar su energía.

Figura 25 – Cima escarpada.



Fuente: Elaboración propia

Una loma con una cima muy escarpada también puede presentar turbulencias localizadas antes y después, por lo que pudiera ser un sitio inapropiado aprovechar la energía del viento en los lugares con turbulencias, sin embargo su cima podría ser posiblemente un sitio apropiado, ya que se presentarían velocidades altas. Esto se determina con estudios previos de terreno y velocidades. <sup>[19]</sup>

### 3.1.1.4 Densidades de aire

La energía cinética del aire depende de la velocidad que posea ésta y además de su densidad, siendo proporcional a esta última. Cuanto más denso sea el aire, más energía se podrá extraer para la misma velocidad de viento, aunque la densidad disminuye ligeramente con el aumento de la humedad.

Tabla 3 – Densidad de aire a presión atmosférica estándar.

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Densidad, masa de aire seco (kg·m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Contenido de agua máxima (kg·m<sup>-3</sup>)</b>
-25	1.423	
-20	1.395	
-15	1.368	
-10	1.342	
-5	1.317	
0	1.292	0.005
5	1.269	0.007
10	1.247	0.009
15	1.225	0.013
20	1.204	0.017
25	1.184	0.023
30	1.165	0.030
35	1.146	0.039
40	1.127	0.051

Fuente: Windpower (2003)  
(<https://goo.gl/m987qe>)

A presión atmosférica normal de 1atm y a 15°C, el aire pesa unos 1.225 kilogramos por cada metro cubico, estos datos se utilizan como estándar en la industria eólica. <sup>[20]</sup>

### 3.1.2 Variabilidad del viento

En la industria eólica es muy importante ser capaz de describir la variación de las velocidades del viento. Los proyectistas de turbinas necesitan la información para optimizar el diseño de sus aerogeneradores, así como para minimizar los costos de generación.

Si se mide las velocidades del viento a lo largo de un año, se observará que en la mayoría del tiempo los fuertes vendavales son raros, mientras que los vientos frescos y moderados son bastante comunes.



Los vientos locales repiten un ciclo diario, pero variable, mientras que las variaciones mensuales o estacionales son cíclicas y uniformes. En verano son, generalmente de menos intensidad que en invierno. <sup>[14]</sup>

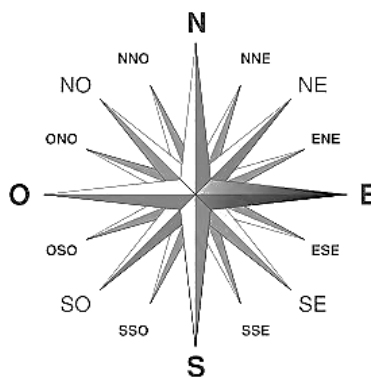
### 3.1.2.1 La rosa de los vientos

La rosa de los vientos es una representación gráfica de la información sobre las distribuciones de velocidades y frecuencias del viento, se basa en observaciones meteorológicas de las velocidades y direcciones que posee el viento. Ésta representa el porcentaje de tiempo que el viento sopla en una dirección determinada.

Dependiendo de la dirección que adquieran los vientos se dividen en constantes, que soplan todo el año en la misma dirección aunque la intensidad varía, y en intermitentes, que no tienen regularidad en su dirección. La condición de constantes en general no se presenta durante un periodo de tiempo razonable. Por ende las mediciones de dirección se hacen necesarias para cuantificar los cambios producidos durante un periodo de estudio.

La Rosa de los vientos puede dividirse en 8, 12 ó 16 sectores, representando la frecuencia relativa de cada dirección considerada, es decir, qué tanto por ciento del tiempo el viento sopla desde una dirección determinada. <sup>[21]</sup>

Figura 26 – Rosa de los vientos.



Fuente: Geografía (2011)  
(<https://goo.gl/Js8h3p>)

La dirección se representa en grados de 0° a 360, en sentido horario. En ésta, 0° corresponde al Norte, 90° al Este, 180° al Sur, 270° al Oeste y 360° nuevamente corresponde al Norte.

Los grados intermedios son representados en la siguiente tabla:

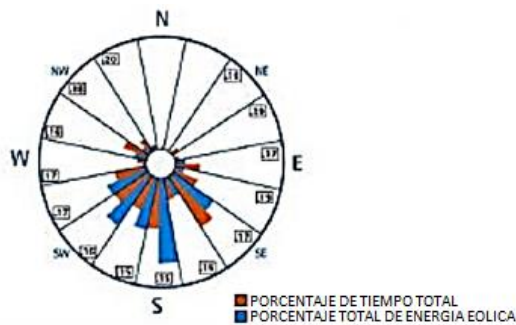
Tabla 4 – Ángulos intermedios según dirección.

Abreviación	Denominación	Ángulo
NNE	Norte Noreste	22.5°
NE	Noreste	45°
ENE	Este Noreste	67.5°
E	Este	90°
ESE	Este Sudeste	112.5°
SE	Sudeste	135°
SSE	Sur Sudeste	157.5°
S	Sur	180°
SSO	Sur Sudoeste	202.5°
SO	Sudoeste	225°
OSO	Oeste Sudeste	247.5°
O	Oeste	270°
ONO	Oeste Noroeste	292.5°
NO	Noroeste	315°
NNO	Norte Noroeste	337.5°
N	Norte	360°

Fuente: elaboración propia

La rosa de los vientos proporciona información sobre las velocidades relativas del viento en diferentes direcciones, como se aprecia en la siguiente gráfica.

Figura 27 – visualización de la gráfica rosa de los vientos.



Fuente: Proyecto Aeolus (2016)  
 (<https://goo.gl/TGRzHI>)

La posición de las barras en las gráficas, indica “desde dónde” viene el viento, se puede apreciar en la gráfica anterior que el viento predominante viene desde el Sudeste, Sur, Sur Sudoeste, Sudoeste y Oeste Sudeste.

La interpretación de la rosa de los vientos es útil para situar máquinas eólicas. Si una gran parte de la energía del viento viene de una dirección particular, lo que se deseará, cuando se instale un aerogenerador en el entorno, será tener la menor cantidad posibles de obstáculos en esa dirección, así como un terreno lo más liso posible. Sin embargo, los modelos eólicos pueden variar de un año a otro, así como el contenido energético (normalmente alrededor de un 10%). Por lo tanto, es recomendable tener observaciones de varios años para poder obtener una media fidedigna. Los proyectos de grandes parques eólicos cuentan, normalmente, con un año de medidas locales y utilizan observaciones meteorológicas con periodos más extensos de las estaciones meteorológicas cercanas, para así ajustar sus medidas u obtener una media a largo plazo fiable. <sup>[14]</sup>

### **3.1.2.2 Distribución de Weibull**

La velocidad del viento es un fenómeno aleatorio, su intensidad es muy variable de modo que es adecuada tratarla de forma estadística para poder interpretarla. Uno de los métodos más utilizados en proyectos eólicos es la distribución de Weibull.

La distribución de Weibull es una función matemática que permite estimaciones satisfactorias de asimetría en la distribución de una densidad de probabilidad. Es decir, es una función utilizada para predecir la variación del viento en una localización específica, haciendo posible describir el comportamiento del viento y también estimar la producción de energía para una localización.

Esta función está caracterizada por dos parámetros: “c” y “k”. El parámetro “c” se denomina “parámetro de escala” y define cuan dispersa se encuentra la distribución. El parámetro “k” se denomina “parámetro de forma” y define la forma de la distribución. <sup>[22]</sup>

La función densidad de probabilidad de Weibull viene dada por la siguiente formula:

$$f(v) = \frac{k}{c} * \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} * \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (5)$$

La función densidad acumulada de Weibull viene dada por:

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (6)$$

Dónde:

$v$ = módulo de velocidad del viento [ $m \cdot s^{-1}$ ]

$c$ = Parámetro de escala en [ $m \cdot s^{-1}$ ]

$k$ = Parámetro de forma, adimensional

El valor del parámetro de forma “k” es razonable entre  $1 \leq k \leq 10$ . Pero generalmente varía entre  $1.5 \leq k \leq 3$ . [24]

El valor del parámetro de escala “c” es por lo general muy similar al valor de la velocidad media. [23]

Existen diferentes métodos para determinar los parámetros de forma y escala. En el presente informe se expondrá solo uno.

- Método de gráfico o de los mínimos cuadrados

Este método utiliza la transformación doble logarítmica en la función de densidad acumulada de Weibull  $F(v)$ . Mediante este método es posible transformar la función  $F(v)$  en una ecuación lineal de regresión.

Se tiene:

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

$$e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} = 1 - F(v)$$

$$\frac{1}{e^{\left(\frac{v}{c}\right)^k}} = 1 - F(v)$$

$$\frac{1}{1-F(v)} = e^{\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

Aplicando Logaritmo Natural:

$$\ln \left( \frac{1}{1-F(v)} \right) = \ln e^{\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

$$\ln \left( \frac{1}{1-F(v)} \right) = \left(\frac{v}{c}\right)^k$$

Aplicando Logaritmo Natural:

$$\ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1-F(v)} \right) \right] = \ln \left(\frac{v}{c}\right)^k$$

$$\text{Ln} \left[ \text{Ln} \left( \frac{1}{1 - F(v)} \right) \right] = k * \text{Ln} \left( \frac{v}{c} \right)$$

Por lo Tanto: 
$$\text{Ln} \left[ \text{Ln} \left( \frac{1}{1 - F(v)} \right) \right] = k * \text{Ln}(v) - k * \text{Ln}(c) \tag{7}$$

La ecuación (7) mantiene la estructura de la ecuación de la recta que está determinada por la siguiente expresión:

$$y = m x + b \tag{8}$$

Por lo tanto es posible relacionar las ecuaciones (7) y (8) tal que:

$$y = \text{Ln} \left[ \text{Ln} \left( \frac{1}{1 - F(v)} \right) \right] \quad m = k \quad x = \text{Ln}(v) \quad b = -k * \text{Ln}(c)$$

Graficando  $\text{Ln} \left[ \text{Ln} \left( \frac{1}{1 - F(v)} \right) \right]$  versus  $\text{Ln}(v)$  se genera una línea recta con pendiente “k”, e intersección con el eje Y en  $k * \text{Ln}(c)$ .

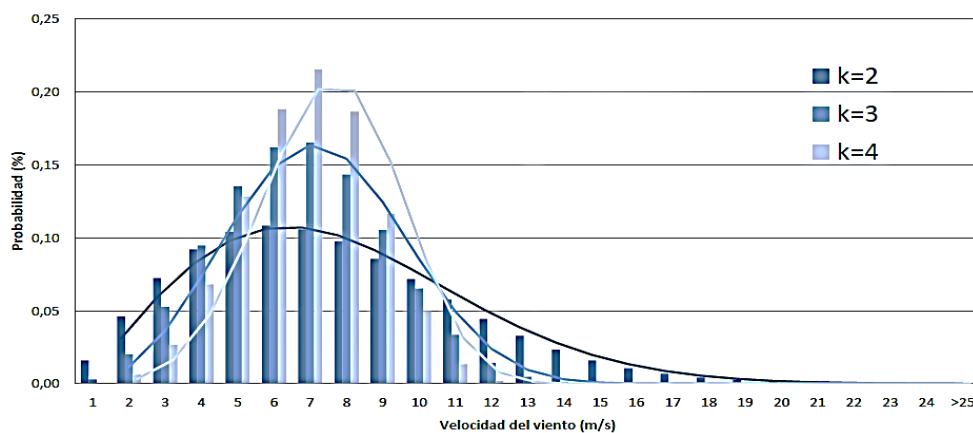
Con estas interacciones se puede determinar los parámetros de las distribuciones de Weibull <sup>[23]</sup>

$k = m$  Parámetro de forma.

$c = e^{\left(-\frac{b}{k}\right)}$  Parámetro de escala.

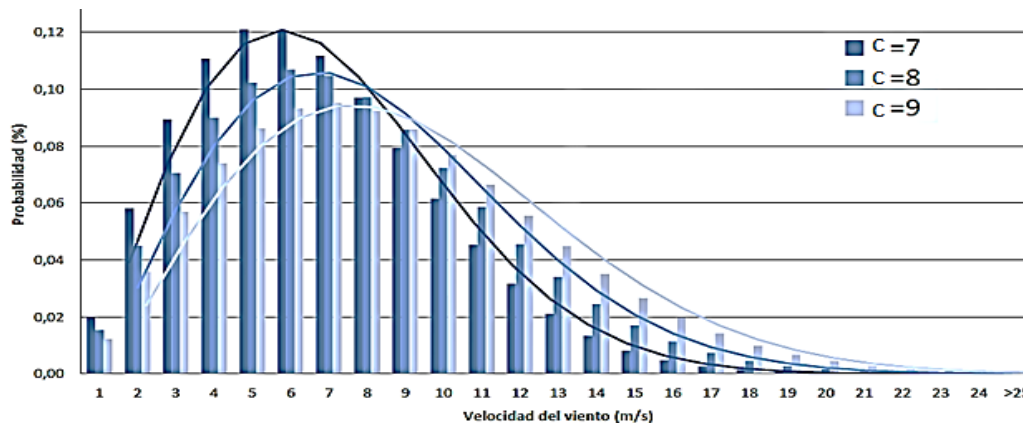
En las siguientes gráficas se puede observar el comportamiento de la distribución de Weibull para un caso particular, al variar cada parámetro.

Figura 28 – Distribución de Weibull, con factor de escala  $c=7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  y variando el factor de forma k.



Fuente: Energía eólica (2016)  
(<https://goo.gl/7GIEF9>)

Figura 29 - Distribución de Weibull, con factor de forma  $k=2$  y variando el factor de escala  $c$ .



Fuente: *Energía eólica* (2016)  
 (<https://goo.gl/7GIEF9>)

El parámetro de forma “ $k$ ” describe como están distribuidos los datos de velocidades, visualmente indica que tan próximas tienden a estar las velocidades del viento a un cierto valor. A medida que aumenta “ $k$ ”, más puntiaguda se vuelve la distribución. [25]

Mientras que el parámetro de escala “ $c$ ” define la posición de la curva de Weibull respecto del valor más probable de velocidad, suele indicar qué tan ventoso es, en promedio, el lugar.

Se puede apreciar que la distribución de Weibull es sesgada, esto es debido a que en ocasiones se registran velocidades muy altas, pero de manera muy esporádica, mientras que las velocidades más recurrentes se concentran en intervalos medios. El área bajo cada curva siempre es unitaria, ya que la probabilidad de que el viento sople a cualquier velocidad es del 100%.

La distribución estadística de las velocidades del viento varía de un lugar a otro del globo, dependiendo de las condiciones climáticas locales, del paisaje y de su superficie. Por lo tanto, la distribución de Weibull puede variar tanto en la forma como en la escala, pero manteniendo su curva característica. [14]

Esta distribución es la encargada finalmente de explicar el contenido energético presente en el viento.

### 3.1.2.3 Distribución de Rayleigh

Otra función de distribución muy usada para tratar estadísticamente las magnitudes de velocidades de viento es la distribución de Rayleigh. La cual presenta la siguiente expresión:

$$f(v) = \frac{\pi}{2} * \frac{v}{\bar{v}^2} * e^{-\frac{\pi}{4} * (\frac{v}{\bar{v}})^2} \quad (9)$$

Y la función de distribución acumulativa es:

$$F(v) = 1 - e^{-\frac{\pi}{4} * (\frac{v}{\bar{v}})^2} \quad (10)$$

Dónde:

$v$ = módulo de velocidad del viento [ $m \cdot s^{-1}$ ]

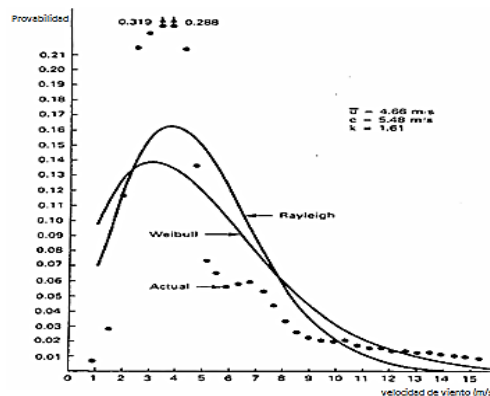
$\bar{v}$ = módulo de la velocidad media en [ $m \cdot s^{-1}$ ]

La función de Rayleigh es una particularidad de la función de Weibull, trabaja solo con una variable. De manera análoga se puede usar los mismos métodos de la distribución de Weibull, utilizando  $k=2$  y  $\bar{v}=c$ ; conduciendo a resultados aceptables en la mayoría de los casos.

La función de Weibull es más versátil al trabajar con la frecuencia del viento para cada valor de velocidad, pero la función de Rayleigh es más simple de usar al trabajar solo con el valor medio de la velocidad del viento. <sup>[25]</sup>

En la siguiente grafica se puede observar el comportamiento de la distribución de Weibull y la distribución de Rayleigh para un caso particular.

Figura 30 – Grafica de la distribución de Weibull y la distribución de Rayleigh para un caso particular.



Fuente: Estadística del viento (2016)  
(<https://goo.gl/SUXoOJ>)

### 3.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN AEROGENERADOR

Un aerogenerador es básicamente un generador eléctrico movido por acción del viento. Para que esto sea posible están equipados de un rotor que recibe la energía cinética del viento en sus palas, haciéndola girar y moviendo así el generador de la turbina. En general, los aerogeneradores son diseñados para trabajar con velocidades promedio del viento que varían entre 3 y 25 m·s<sup>-1</sup>. Estas velocidades son llamadas velocidad de conexión y velocidad de corte, respectivamente.

El aerogenerador comienza a producir energía cuando la velocidad del viento supera la velocidad de conexión y, a medida que la velocidad del viento aumenta, la potencia generada será mayor. <sup>[14]</sup>

Por lo tanto la función del aerogenerador es aprovechar el potencial eólico de un sector, transformando la energía eólica en energía eléctrica. Para ello existen múltiples diseños de aerogeneradores los cuales contienen muchos y variados componentes, explicados más adelante.

#### 3.2.1 Componentes de un aerogenerador

- Góndola

La góndola está constituida por un chasis y una capota. Es el habitáculo de todos los sistemas esenciales del aerogenerador. Está construida generalmente de fibra de vidrio o poliéster reforzado con fibra de vidrio y acolchada en su interior para la reducción de ruidos, su función es proteger los elementos internos y sistemas de funcionamiento de las inclemencias meteorológicas. Los aerogeneradores más grandes suelen tener capacidad para 3 ó 4 personas en su interior. <sup>[14]</sup>

Figura 31 – Montaje de góndola de un aerogenerador.



Fuente: Nordex (2013)  
(<https://goo.gl/hLxV8v>)



- Palas del rotor

Las palas o aspas son las encargadas de captar la energía cinética del viento cuando éste se encuentre en su trayectoria, transfiriéndola al buje en forma de movimiento rotacional.

Los aerogeneradores modernos poseen diseños tripala, con el rotor de cara al viento, pero también existen los modelos bipala y modelos monopala, que serán explicados en el apartado 3.2.2.2.

La mayoría de las modernas palas de grandes aerogeneradores están fabricadas de poliéster o epoxy reforzado con fibra de vidrio. También se utiliza la fibra de carbono como material de refuerzo, pero presentan el inconveniente de ser muy costosas para grandes aerogeneradores.

Los materiales compuestos de madera-epoxy o madera-fibra-epoxy se encuentran como una alternativa aun en desarrollo. En aerogeneradores muy pequeños se utiliza además las aleaciones de acero y de aluminio ya que son menos costosas, pero al presentar problemas de peso y fatiga de material, su uso se ha vuelto limitado en la actualidad al ser anticuado.

Durante la década del 80' se han hecho grandes progresos en la tecnología empleada con las palas, particularmente referidos al peso específico de estas, es decir, a la masa de la pala en relación con el área barrida por el rotor. Este factor, conforme va aumentando el diámetro del rotor, tiende a incrementar su valor debido al aumento de tipo exponencial que experimentan las cargas que han de soportar las palas. Este mayor peso de la pala, se convierte en un problema para tamaños de rotor grandes debido a la fatiga de material, que constituye la causa fundamental de estos fallos.

La siguiente tabla compara el peso del rotor en función del tipo de material empleado para fabricarlo.

Tabla 5 – Comparación de peso del rotor para distintos materiales de una pala.

<b>Material de una pala de 25m</b>	<b>Peso ( kg)</b>
Acero	1700
Fibra de vidrio-poliéster	700
Madera-epoxy	400

Fuente: Proyecto Aeolus (2016)  
(<https://goo.gl/TGRzHI>)

Dentro de los materiales compuestos, los más económicos son los de modelo estándar de fibra de vidrio reforzados con poliéster; sin embargo, con el desarrollo de los materiales compuestos de madera-epoxy se estima un aumento en el uso de este material, pues, aunque son ligeramente más caros, pesan aproximadamente una tercera parte menos que los demás.

En cuanto a los que contienen fibra de carbono; aunque no son todavía competitivos en el precio, sus prestaciones son aún mejores, ya que para una determinada resistencia de la pala pesan menos que los de madera.<sup>[14]</sup>

- Buje del rotor

El buje es una pieza que conecta las palas al eje principal. La unión entre una pala y el buje se lleva a cabo por medio de bridas y tornillos de sujeción.<sup>[14]</sup>

Figura 32 – Instalación del buje en el eje.



Fuente: Reve (2016)  
(<https://goo.gl/wSZZZH>)

- Eje de transmisión

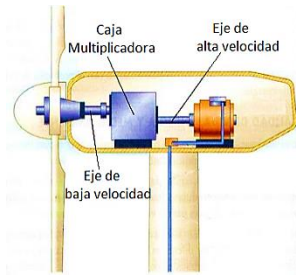
El eje de transmisión es el encargado de transmitir el movimiento desde el rotor al generador eléctrico. Existen dos ejes principales: eje de baja velocidad y eje de alta velocidad. Entre ellos se encuentra la caja multiplicadora.<sup>[17]</sup>

El eje de baja velocidad posee una función mecánica y estructural. Por un lado es la encargada de transmitir el movimiento del buje; y por otro, actúa como soporte del rotor haciendo frente al empuje del viento y a las fuerzas laterales. Esta pieza está sometida constantemente a la fatiga, por lo que los ingenieros concentran su atención en el diseño, fabricación, instalación y mantenimiento de ésta, para que tenga un óptimo desempeño ante las necesidades de operación. Dependiendo del diseño y de las prestaciones del eje de baja velocidad, este puede ir montado directamente en el buje del aerogenerador, o puede ir montado sobre cojinetes con rodamientos de rodillos cónicos, o sobre cojinetes con rodamiento de bolas.<sup>[14]</sup>

El eje de alta velocidad transfiere el movimiento desde el eje de baja velocidad hasta el generador eléctrico, para ello se utiliza una caja multiplicadora. Este eje gira unas 50 veces más rápido que el eje de baja velocidad, permitiendo así el funcionamiento del generador. El eje de alta velocidad está equipado con un freno de disco mecánico de emergencia, explicado más adelante.

[17]

Figura 33 – Ubicación de los ejes en el aerogenerador.



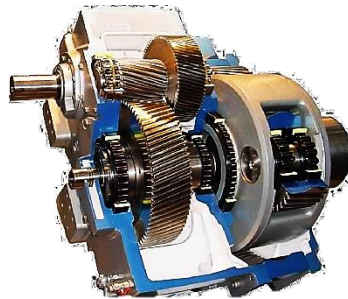
Fuente: Modificado de Tecnología Cardones (2016)  
(<https://goo.gl/ALIU8q>)

- Caja multiplicadora

La potencia de la rotación del rotor del aerogenerador es transferida al generador a través del eje de baja velocidad, la caja multiplicadora y el eje de alta velocidad. Por lo que la caja multiplicadora tiene la función de incrementar el número de revoluciones traspasadas desde el rotor hacia el generador eléctrico. <sup>[17]</sup>

En aplicaciones de energía eólica, se emplean, generalmente, dos tipos de transmisiones: de ejes paralelos y las planetarias o epicicloidales.

Figura 34 – Caja de engranajes de ejes paralelos.



Fuente: Opex Energy (2016)  
(<https://goo.gl/PwFbLZ>)

Las transmisiones de ejes paralelos se caracterizan por:

- Su menor costo.
- Su diseño más sencillo.
- Su fácil mantenimiento.
- Su mayor tamaño, y por ende mayor peso.
- Su funcionamiento con menos ruido.

Figura 35 – Caja de engranajes planetarios.



Fuente: Anaheim Automation (2016)  
(<https://goo.gl/5uBBiA>)

Los multiplicadores planetarios se caracterizan por:

- Su mayor costo.
- Su diseño y mantenimiento complejos.
- Su menor tamaño, y por ende su menor peso.
- Permitir un diseño de ejes alineados.

La siguiente tabla muestra una comparación entre estos modelos:

Tabla 6 – Comparación entre modelos de multiplicadores.

<b>Características</b>	<b>Ejes paralelos</b>	<b>Ejes Planetarios</b>
Peso	7000 kg	5000 kg
Distancia entre ejes	1.4 m	alineados
Dimensiones de la planta	2.4 x 1.5 m	1.3 x 1.3 m
Refrigeración	Ventilador	Sistema exterior
Capacidad de aceite	8.25 L	1.90 L
Costo relativo	1	0.6

Fuente: Proyecto Aeolus (2016)  
(<https://goo.gl/TGRzHI>)

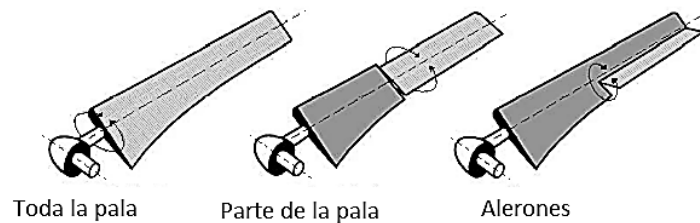
En la actualidad se están empleando con mayor frecuencia transmisiones híbridas, que intentan aprovechar las ventajas de ambos diseños. <sup>[14]</sup>

- Sistema de frenado

Por motivos de seguridad, el aerogenerador cuenta con sistemas de frenado del rotor, ya sea si se quiere controlar la velocidad de giro de las aspas o si se requiere detener completamente el sistema. Existen dos sistemas de frenado: aerodinámico y mecánico.

El freno aerodinámico es un sistema primario que consiste en girar las palas del rotor para que queden perpendiculares al viento y bloquear el paso de este, o también se giran en sentido contrario para que las palas queden paralelas al viento y generar una pérdida aerodinámica que termine deteniendo el rotor. El giro puede ser de la pala completa, o parte de esta a través de alerones, como se aprecia en la siguiente figura.

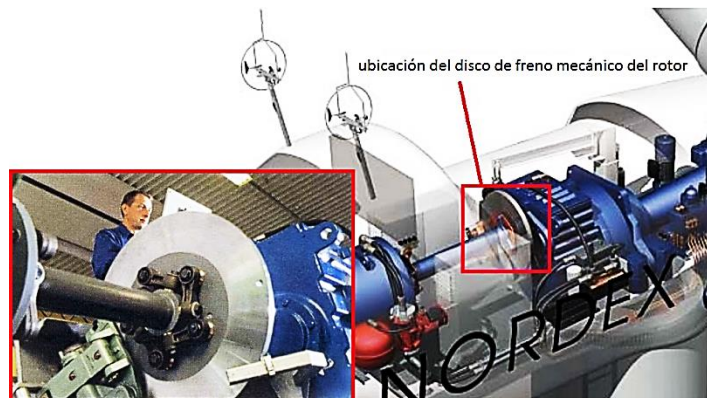
Figura 36 – Sistema de freno aerodinámico.



Fuente: Control de un Aerogenerador (2010)  
 (<https://goo.gl/FLz25w>)

El freno mecánico es utilizado como apoyo al sistema anterior, es decir, como freno de estacionamiento, una vez que la turbina haya sido detenida. Este se ubica en el eje de alta velocidad, entre la caja multiplicadora y el generador eléctrico.<sup>[17]</sup>

Figura 37 – Sistema de freno mecánico, freno de disco.

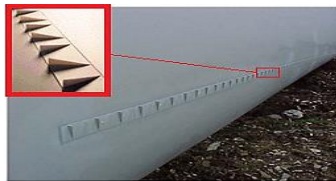


Fuente: Modificado desde Proyecto Aeolus (2016)  
 (<https://goo.gl/TGRzHI>)

Por otro lado, también existe un sistema pasivo de regulación de velocidad que actúa como freno aerodinámico. Este consiste en pequeñas aletas llamadas vortex que se ubican a lo largo de las palas y cuya función es provocar pérdida de sustentación a través de torbellinos, para asegurar que; en el momento en que la velocidad del viento sea demasiado alta, genere turbulencia en la parte de la pala que no da al viento.

Esta pérdida de sustentación evita que la fuerza de ascenso de la pala actúe sobre el rotor. Con ello se permite que el aerogenerador funcione a velocidades de viento altas sin quemar el generador eléctrico por exceso de potencia. <sup>[14]</sup>

Figura 38 – vortex en una pala para generar turbulencia controlada.



Fuente: Modificado desde Proyecto Aeolus (2016)  
(<https://goo.gl/TGRzHI>)

- Generador eléctrico

El generador eléctrico permite obtener del viento la energía eléctrica. En las grandes instalaciones se utilizan grupos generadores asíncronos o grupos de generadores síncronos conectados a la red de forma directa, o a través de dispositivos electrónicos. En las pequeñas instalaciones, que trabajan como sistemas aislados a la red, se utilizan generalmente generadores síncronos y particularmente de corriente continua, en sistemas en donde la energía eléctrica debe ser almacenada. <sup>[14]</sup>

- Mecanismos de orientación

El mecanismo de orientación de un aerogenerador es utilizado para girar el rotor de la turbina en contra del viento. Los grandes aerogeneradores de eje horizontal emplean orientación forzada, es decir, utilizan un mecanismo que mantiene la turbina orientada mediante motores eléctricos. Los pequeños aerogeneradores son orientados a través de una veleta ubicada en la parte posterior.

Figura 39 – Aerogenerador direccionado por veleta de cola



Fuente: Cubasolar (2016)  
(<https://goo.gl/17gM2b>)

El aerogenerador posee cables que llevan la corriente desde el generador eléctrico hacia abajo, a lo largo de la torre. Sin embargo, los cables estarán cada vez más enrollados si el aerogenerador se sigue orientando en el mismo sentido durante un largo periodo de tiempo. Así pues, los aerogeneradores están equipados con un contador de la tensión en los cables que avisará al controlador de cuando es necesario desenrollarlos. Además el aerogenerador está equipado con un “final de carrera” que se activa cuando los cables se enrollan demasiado. <sup>[14]</sup>

La utilización de anillos rozantes es una alternativa al problema de los cables enrollados. Este dispositivo se utiliza para la transmisión de corriente en todo tipo de transmisiones eléctricas rotativas de corriente continua y alterna. Sin embargo la utilización de este mecanismo no es conveniente si se está trabajando a corrientes muy altas, por lo que su uso está limitado a pequeños y medianos aerogeneradores. <sup>[14] [28]</sup>

- Controlador electrónico

Es un ordenador que monitorea las condiciones del viento y de la turbina, recogiendo estadísticas de su funcionamiento, además controla el mecanismo de orientación. En caso de cualquier disfunción del aerogenerador, automáticamente envía una señal de alerta al ordenador del operario encargado de la turbina a través de un enlace telefónico mediante un modem. <sup>[26]</sup>

- Unidad de refrigeración

Los aerogeneradores de gran tamaño necesitan refrigeración durante su funcionamiento. Estos contienen un ventilador utilizado para enfriar el generador eléctrico. Además contienen una unidad de refrigeración por aceite empleada para refrigerar el aceite que se utiliza en el multiplicador. Algunas turbinas tienen generadores refrigerados por agua o incluso aire. <sup>[26]</sup>

- Torre

Es la parte del aerogenerador que soporta la góndola y el rotor. En los grandes aerogeneradores las torres son tubulares de acero, de hormigón o de estructura de barras metálicas. En los pequeños aerogeneradores se utilizan torres tubulares tensadas con cables, ya que son de bajo costo. <sup>[26]</sup>

Las torres tubulares de acero de los grandes aerogeneradores se fabrican en secciones de 20 a 30 m, que se unen con pernos en el mismo lugar de emplazamiento. Estas torres son tronco-cónicas, con el diámetro mayor en la base, con el fin de aumentar su resistencia. Además dentro de las torres tubulares se diseña un acceso para el personal que realiza la mantención y reparación del aerogenerador. Cabe señalar que el costo de una torre es aproximadamente el 20% del costo total del aerogenerador. <sup>[14]</sup>

### 3.2.2 Tipos de aerogeneradores

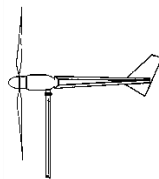
Existen muchos modelos de aerogeneradores que funcionan en la actualidad. Estos se pueden clasificar de varias maneras.

#### 3.2.2.1 Clasificación según el eje de trabajo

- Aerogeneradores de eje horizontal

Los aerogeneradores de eje horizontal son los comúnmente utilizados, fabricados y comercializados en la actualidad para proyectos energéticos. Se construyen con un rotor tipo hélice de eje horizontal que transforma el movimiento del viento en energía rotacional. <sup>[23]</sup>

Figura 40 – Rotor de eje horizontal



Fuente: *Energía Eólica* (2009)  
(<https://goo.gl/P8zRkz>)

- Aerogeneradores de eje vertical

Este tipo de aerogenerador es menos eficiente que los de eje horizontal, posee aspas que se asemejan a una batidora, normalmente se construye con dos o tres aspas en forma de C. Dentro de las máquinas eólicas de eje vertical se encuentran dos diseños básicos: Rotor tipo Savonius y rotor tipo Darrieus.



El modelo Savonius extrae la energía del viento por medio de dos semicilindros ahuecados y desplazados. El diseño presenta buenas características de arranque y autorregulación, lo cual la hace adecuada para bombeo de agua en aplicaciones de riego. En cambio, para generación eléctrica presenta bajo rendimiento. Su ventaja es la facilidad y sencillez de diseño.

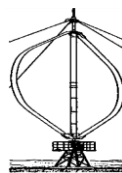
Figura 41 – Rotor Savonius. Circulación del viento en el rotor.



Fuente: Proyecto Aeolus (2016)  
(<https://goo.gl/TGRzHI>)

El modelo Darrieus está formada por álabes de perfil generalmente biconvexo, unidos rígidamente entre sí y que giran alrededor del eje vertical, adoptando diversas formas. La superficie descrita por las palas puede ser cilíndrica, troncocónica, esférica o parabólica. La mayor ventaja de este tipo de turbinas es que las palas se apoyan en dos extremos, haciéndolas más resistentes estructuralmente que las hélices convencionales. Pero presentan el inconveniente de funcionar a impulsos intermitentes y son difíciles de regular. Además deben ser arrancadas de forma externa.

Figura 42 – Rotor Darrieus.



Fuente: Proyecto Aeolus (2016)  
(<https://goo.gl/TGRzHI>)

Las principales ventajas teóricas de una máquina de eje vertical son que se pueden situar sus componentes en el suelo, y puede no tener que necesitar una torre para la máquina. Además no necesitan un mecanismo de orientación para girar el rotor en contra del viento.

La principal desventaja es que las velocidades del viento cerca del suelo son muy bajas, disminuyendo su eficiencia. Además posee un mantenimiento más complejo ya que para el caso de reemplazar los cojinetes del rotor, se debe desmontar la maquina completa. <sup>[14]</sup>

### 3.2.2.2 Clasificación según el número de aspas o palas

- Monopala

Los aerogeneradores de una pala requieren de un contrapeso en el lado del buje opuesto a la pala para equilibrar el rotor. Estos modelos no están muy extendidos comercialmente, debido a que requieren mayor velocidad de giro para producir la misma energía de salida que las que tienen más palas. Y además, generan más ruido. <sup>[27]</sup>

Fig. 43 – Aerogenerador monopala



Fuente: Elaboración propia (2016)

- Bipala

Los diseños bipala de aerogeneradores requieren de un diseño más complejo. Poseen un rotor con un buje oscilante el cual es capaz de inclinarse con el fin de evitar fuertes sacudidas en la turbina cada vez que una de las palas pasa por la torre. Este modelo, junto al monopala, tienen la ventaja de ahorrar el costo de agregar más palas al rotor, disminuyendo su peso. Sin embargo presentan problemas de ruido y de mayor velocidad de giro para producir energía. <sup>[27]</sup>

Fig. 44 – Aerogenerador bipala



Fuente: Elaboración propia (2016)

- Tripala

Los modelos tripala son los más utilizados en la industria de aerogeneradores. A este diseño se le llama modelo danés y tiende a imponerse como estándar al resto de los modelos expuestos. La principal razón de tener un número impar de palas es generar estabilidad en la turbina. <sup>[27]</sup>

Fig. 45 – Aerogenerador tripala



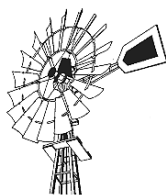
Fuente: Elaboración propia (2016)

- Multipala

Las máquinas eólicas Multipala pueden poseer hasta 24 palas en su rotor, cubren casi toda la superficie del área de ataque al viento, y poseen una veleta para orientarla. Los rotores de este tipo funcionan con vientos de baja velocidad, entre 2 a 3 m·s<sup>-1</sup>.

Este tipo de máquinas se utiliza principalmente en el bombeo de agua. <sup>[14]</sup>

Fig. 46 – Máquina eólica Multipala



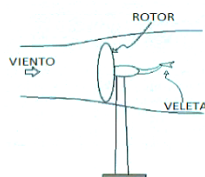
Fuente: Energía Eólica (2016)  
(<https://goo.gl/idXhgk>)

### 3.2.2.3 Clasificación según la posición del rotor de la máquina

- Rotor a Barlovento

Estas máquinas poseen el rotor de cara al viento. Para posicionarse en la dirección del viento, necesitan de un mecanismo de orientación, que las ubique de frente al viento. Así se logra sacar un mayor provecho. La mayoría de los aerogeneradores poseen este diseño. <sup>[14]</sup>

Figura 47 – Rotor a barlovento

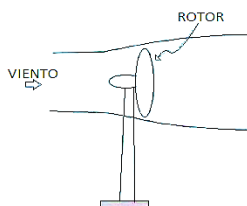


Fuente: Elaboración propia (2016)

- Rotor a Sotavento

Las maquinas con este tipo de rotor tienen las palas situadas en la parte trasera de la góndola, y la góndola se encuentra enfrentada directamente al viento. La ventaja teórica que tiene este tipo de diseño es que puede ser construido sin un mecanismo de orientación, ya que el rotor y la góndola poseen un diseño apropiado que hace que esta siga al viento pasivamente. <sup>[14]</sup>

Figura 48 – Rotor a sotavento



Fuente: Elaboración propia (2016)

### 3.2.2.4 Clasificación según tamaño y potencia

Los aerogeneradores se pueden clasificar según su potencia de la siguiente manera.

Tabla 7 – Rangos de potencia de aerogeneradores.

<b>Clase</b>	<b>Potencia (kW)</b>	<b>Aplicaciones</b>
Muy Baja *	< 10	Viviendas aisladas, sistemas de comunicación, refugios de montaña, embarcaciones, iluminación.
Baja	10 – 100	PYME'S, sistemas mixtos eólicos-diésel.
Media	100 – 1.000	Parques eólicos (terreno complejo).
Alta	1.000 – 10.000	Parques eólicos (terreno llano, mar adentro).
Muy alta	> 10.000	En fase de investigación y desarrollo, requieren nuevos diseños y materiales no convencionales.

\* Se clasifican según la potencia nominal en microaerogeneradores (<1kW) y miniaerogeneradores (1 – 10 kW).

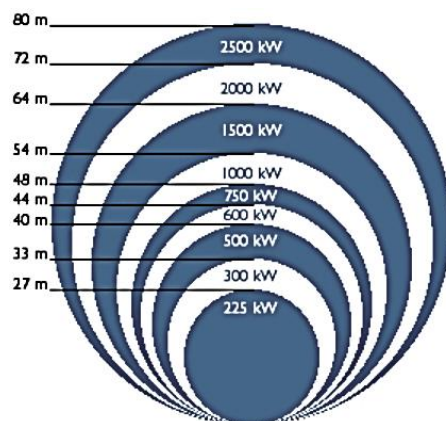
Fuente: obtenido de memoria

“estudio y comparación de las topologías más comunes en generadores eólicos” (2013) <sup>[29]</sup>

La potencia que produce un aerogenerador se ve aumentada con el área de barrido del rotor, y éste depende del diámetro del rotor. Por lo tanto un aerogenerador de mayor potencia tendrá un rotor de mayor diámetro. <sup>[29]</sup>

La siguiente figura representa los tamaños de rotor normales en aerogeneradores.

Figura 49 – Visualización del área de barrido y la potencia de generación eólica.



Fuente: Windpower (2003)  
(<https://goo.gl/jTv3Mf>)

Los diámetros de rotor pueden variar respecto a la Figura 49, ya que muchos de los fabricantes optimizan sus máquinas ajustándolas a las condiciones de viento locales. <sup>[30]</sup>

### 3.2.2.5 Clasificación según tipo de generador eléctrico

- Generador Síncrono

Este aerogenerador funciona con un sistema de velocidad variable. Se utiliza comúnmente en sistemas de baja potencia ya que permite una optimización en la captación de energía para velocidades del viento menores a la nominal del aerogenerador. <sup>[23]</sup>

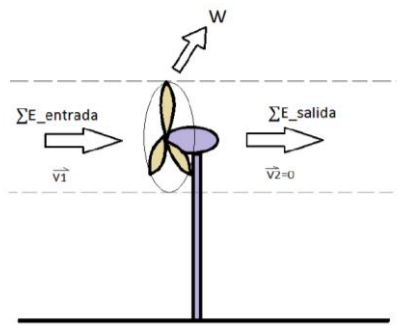
- Generador Asíncrono

Utilizado comúnmente en sistemas de alta potencia. Funciona con un sistema de velocidad constante; ya que, al aumentar la velocidad del viento, la fuerza reactiva de la red produce un equilibrio evitando que el rotor gire más rápido, pero produciendo mayor potencia con un pequeño aumento de la velocidad de rotación. <sup>[23]</sup>

### 3.3 POTENCIAL EÓLICO

Para determinar el potencial eólico, se realizará un análisis teórico empleando la ecuación de Bernoulli, de la conservación de la energía. Para ello se tiene el siguiente esquema explicativo:

Figura 50 – Extracción de la potencia teórica del viento.



Fuente: Elaboración propia

La figura anterior se puede explicar con un balance de energía <sup>[31]</sup>. Por lo tanto se tiene:

$$\Sigma E_{entrada} = \Sigma E_{salida} + w$$

Empleando la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} + gZ_1 = \frac{V_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} + gZ_2 + w \quad (11)$$

Dónde:

$V_1$ = Modulo de velocidad del viento a la entrada del sistema.

$V_2$ = Modulo de velocidad del viento a la salida del sistema.

$P_1$ = Presión del viento a la entrada del sistema.

$P_2$ = Presión del viento a la salida del sistema.

$Z_1$ = Altura del flujo a la entrada del sistema.

$Z_2$ = Altura del flujo a la salida del sistema.

$w$  = Trabajo generado en el proceso.

$g$ = Gravedad terrestre.

$\rho$ = Densidad de aire.

Teóricamente, solo la energía cinética en el sistema es aprovechable, siendo los demás términos constantes a la entrada y la salida. Además, el sistema no gana ni pierde calor; por lo tanto el balance teórico será:

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} + g z_1 = \frac{V_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} + g z_2 + w$$

$$\frac{V_1^2}{2} - \frac{V_2^2}{2} = w$$

Considerando que toda la energía cinética del viento, que circula por el área formada por las hélices, es transformada en trabajo ( $\vec{V}_2=0$ ); el balance final quedará:

$$w = \frac{V_1^2}{2} \quad (12)$$

Por otro lado, para determinar la potencia se tiene:  $N = \dot{m} w$  y  $\dot{m} = \rho A V_1$

Dónde:

$N$  = Potencia.

$\dot{m}$  = Flujo másico de aire.

$w$  = Trabajo.

$\rho$  = Densidad de aire.

$A$  = Área formada por las aspas, por donde pasa el viento.

$V_1$  = velocidad del viento

Por lo tanto se tiene:

$$N = \dot{m} * w$$

$$N_{teórico} = \rho A V_1 \frac{V_1^2}{2}$$

$$N_{teórico} = \frac{1}{2} \rho A V_1 V_1^2$$

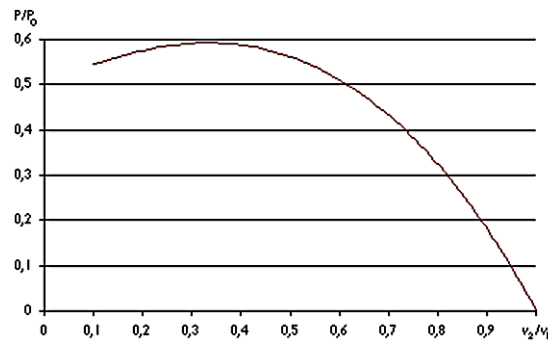
Potencia teórica del viento:

$$N_{teórico} = \frac{1}{2} \rho A V_1^3 \quad (13)$$

### 3.3.1 Limite de Betz

Teóricamente, la energía máxima extraíble del viento viene determinada por la Ley de Betz. Esta ley se basa en la idea de que un aerogenerador solo le es posible extraer energía del viento a expensas de reducirle la velocidad; es decir, se ralentiza el viento al pasar por el rotor. Esto significa que en realidad, no es posible aprovechar toda la energía cinética del viento, ya que una reducción muy forzada de la velocidad del viento por el rotor haría que el aire circulase alrededor de éste, en lugar de pasar a través de él. [32]

Figura 51 – Curva de Betz



Fuente: Windpower (2003)  
(<https://goo.gl/VwyGG4>)

La Ley de Betz establece que sólo puede extraerse menos de 16/27 (aproximadamente el 59%) de la energía cinética del viento, usando un aerogenerador. La máxima extracción de energía del viento se consigue para una reducción equivalente a 2/3 de la velocidad del viento incidente. Esto se verifica cuando detrás del rotor se tiene una velocidad equivalente a 1/3 de la que traía el viento incidente sin perturbar.

La Ley de Betz es una simplificación ya que no tiene presente algunos aspectos existentes en la práctica como resistencia aerodinámica de las palas, pérdida de energía por turbulencia, la compresibilidad del aire y la propia interferencia entre las palas. [14]

Por lo tanto se tiene la potencia aprovechable según Ley de Betz:

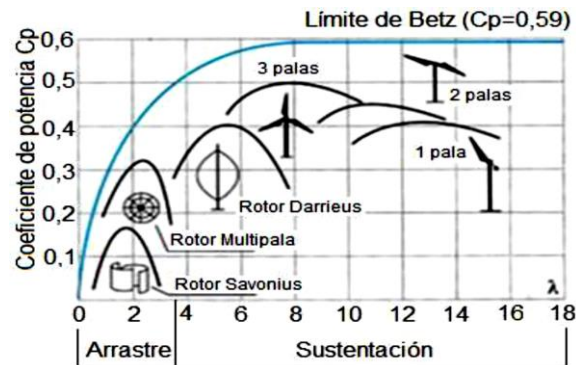
$$N_{aprovechable} = \frac{16}{27} N_{teórico} \quad (14)$$



### 3.3.2 Coeficiente de potencia

El coeficiente de potencia es el rendimiento con el cual funciona un aerogenerador. Expresa qué cantidad de potencia total, de la que posee el viento, es capaz de capturar el rotor.

Figura 52 – Coeficiente de potencia para distintos modelos de aerogeneradores.



Fuente: Hidrolate (2016)  
 (<https://goo.gl/OCMuy5>)

Como se aprecia en la figura anterior, este coeficiente nunca excederá el límite de Betz y dependerá del tipo de máquina y de las condiciones de operación para llegar a obtener la potencia final.

En la práctica, este coeficiente raramente excede del 40% para los rotores típicos de tres palas.  
 [14]

## Capítulo 4: LUMINOTECNIA

La técnica que estudia la luz y sus colores para los efectos de lograr una iluminación adecuada, se denomina Luminotecnia <sup>[34]</sup>. En la técnica de iluminación intervienen dos elementos básicos: la fuente productora de luz y el objeto que se va a iluminar. Para valorar y comparar las cualidades o efectos de las fuentes de luz, se utilizan magnitudes y unidades de medidas fundamentales. <sup>[35]</sup>

### 4.1 UNIDADES FOTOMÉTRICAS Y MAGNITUDES LUMINOSAS

#### 4.1.1 Flujo Luminoso [ $\Phi$ ]

Es la energía radiada que genera una fuente luminosa en todas direcciones, y que es recibida por el ojo humano según su sensibilidad, transformándola en luz durante un segundo.

La representación del flujo luminoso es con la letra griega “ $\Phi$ ” y su unidad es el lumen [lm]. <sup>[35]</sup>

$$\Phi = \frac{Q}{t} \quad (15)$$

Dónde:

$\Phi$ = Flujo luminoso [lm]

$Q$  = Energía luminosa [lm·s]

$t$ = Tiempo [s]

<sup>[36]</sup>

#### 4.1.2 Rendimiento luminoso (eficiencia luminosa) [ $\varepsilon$ ]

El rendimiento luminoso de una fuente de luz indica el flujo que emite dicha fuente por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención. Expresa la eficiencia luminosa y se representa por la letra griega “ $\varepsilon$ ”, siendo su unidad el lumen/Watt [ $\frac{lm}{W}$ ]. <sup>[35]</sup>

$$\varepsilon = \frac{\Phi}{W} \quad (16)$$

Dónde:

$\varepsilon$ = Eficiencia luminosa [ $\frac{lm}{W}$ ]

$\Phi$ = Flujo luminoso [lm]

$W$ = Potencia luminosa [W]

### 4.1.3 Energía luminosa [Q]

Es la cantidad de luz y se determina por el flujo luminoso en la unidad de tiempo.<sup>[35]</sup>

$$Q = \Phi * t \quad (17)$$

Dónde:

$Q$  = Energía luminosa [lm·s]

$\Phi$  = Flujo luminoso [lm]

$t$  = Tiempo [s]

### 4.1.4 Intensidad luminosa [I]

Es el flujo luminoso emitido en una dirección por unidad de ángulo sólido en la misma dirección.

Se representa por la Candela “cd”, siendo su unidad  $\left[\frac{lm}{sr}\right]$

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (18)$$

Dónde:

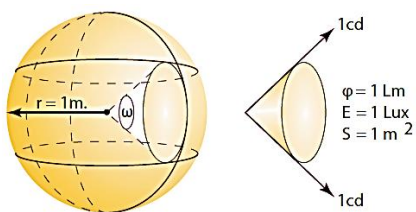
$I$  = Intensidad luminosa [cd]

$\Phi$  = Flujo luminoso [lm]

$\omega$  = ángulo sólido [sr]

El estereoradián [sr] es el ángulo sólido que corresponde a un casquete esférico cuyo centro es la fuente luminosa, y cuya superficie es igual al cuadrado del radio.

Figura 53 – Ángulo sólido.



$$\omega(\text{total}) = 4 \pi \text{ estereorradianes}$$

Fuente: Manual de Iluminación vial (2015)  
(<https://goo.gl/4HFkrp>)

#### 4.1.5 Iluminancia [E]

Representa el nivel de iluminación de una superficie siendo la relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie y su área. Se representa por la letra “E” y su unidad es el Lux [Lx].

Cuanto mayor sea el flujo luminoso incidente sobre una superficie, mayor será su iluminancia. Y para un mismo flujo luminoso incidente, la iluminancia será mayor en la medida que disminuya la superficie. <sup>[35]</sup>

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (19)$$

Dónde:

E= Iluminancia [Lx]

$\Phi$ = Flujo luminoso [lm]

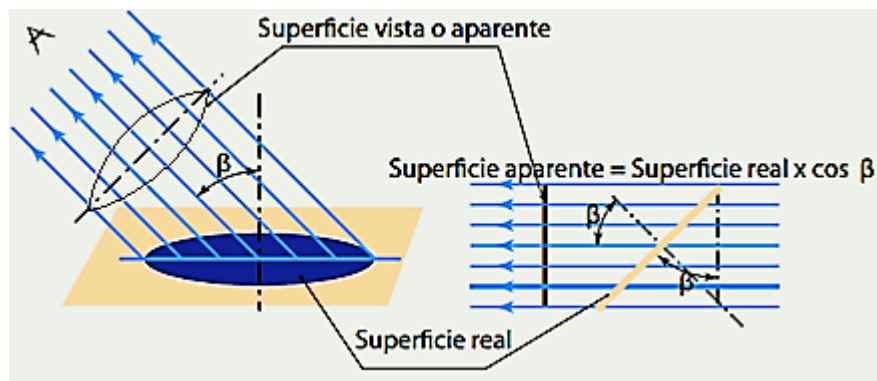
S= superficie donde incide el flujo luminoso [m<sup>2</sup>]

#### 4.1.6 Luminancia [L]

Es la iluminación percibida de los objetos, es decir, es el “brillo” que produce una superficie y que es recibida en la retina del ojo. Este brillo es el resultado de una fuente primaria que produce luz, o de una fuente secundaria que refleja luz.

El área proyectada es la que ve el observador en la dirección de observación.

Figura 54 – Luminancia de una superficie



Fuente: Manual de Iluminación vial (2015)  
(<https://goo.gl/4HFkrp>)

Para calcular el área proyectada se multiplica la superficie real iluminada por el coseno del ángulo que forma su normal con la dirección de la intensidad luminosa.

La luminancia se representa por la letra “L” y su unidad es  $[\frac{cd}{m^2}]$ .<sup>[35]</sup>

$$L = \frac{I}{S \cdot \cos \beta} \quad (20)$$

Dónde:

L= Luminancia  $[\frac{cd}{m^2}]$

I= Intensidad luminosa [cd]

S= Área proyectada  $[m^2]$

$\beta$ = Ángulo que forma la normal de la superficie real con la dirección de la intensidad luminosa  $[^\circ]$

#### 4.1.7 Uniformidad Global $[U_0]$

Es la relación entre la luminancia mínima y media de una instalación de alumbrado. Se representa como “ $U_0$ ”.<sup>[35]</sup>

$$U_0 = \frac{L_{min}}{L_{med}} \quad (21)$$

Dónde:

$U_0$ = Coeficiente de uniformidad global [%]

$L_{min}$ = Luminancia mínima de una instalación  $[\frac{cd}{m^2}]$

$L_{med}$ = Luminancia media de una instalación  $[\frac{cd}{m^2}]$

#### 4.1.8 Uniformidad Longitudinal $[U_L]$

Es la relación entre la luminancia mínima y máxima longitudinal de una instalación de alumbrado. Se representa como “ $U_L$ ”.<sup>[35]</sup>

$$U_L = \frac{L_{min. longitudinal}}{L_{max. longitudinal}} \quad (22)$$

Dónde:

$U_L$ = Coeficiente de uniformidad longitudinal [%]

$L_{min. Longitudinal}$ = Luminancia mínima longitudinal de una instalación  $[\frac{cd}{m^2}]$

$L_{med. Longitudinal}$ = Luminancia máxima longitudinal de una instalación  $[\frac{cd}{m^2}]$

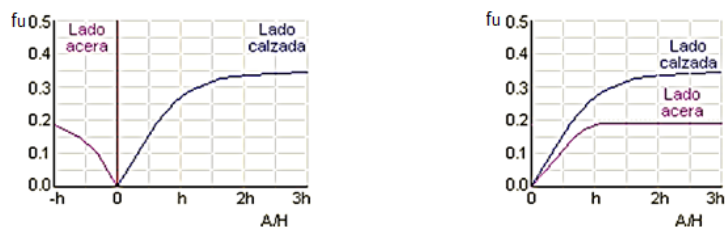
#### 4.1.9 Factor de utilización [ $f_u$ ]

Es un factor que describe el flujo luminoso que efectivamente llega en el área que se desea iluminar. Parte del flujo luminoso emitido por una lámpara se pierde en la luminaria, el resto del flujo luminoso es radiado fuera de la luminaria y otra parte de este flujo “cae” en el área deseada.

[33]

El factor de utilización en una instalación de alumbrado depende de la altura en que se ubique la fuente luminosa y del ancho de la calzada, a través de la relación ( $A/H$ ). Para poder determinarla, los fabricantes de luminarias ponen a disposición una gráfica que permite determinarla con cierta aproximación. [38]

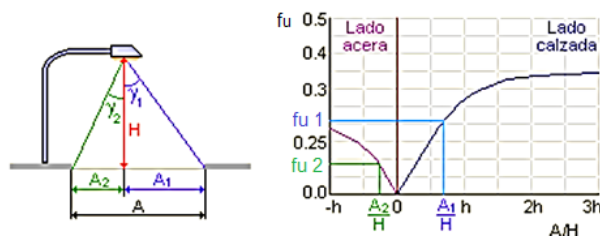
Figura 55 – Tipos de curvas del factor de utilización.



Fuente: *Cálculo de instalaciones de alumbrado (2016)*  
 (<https://goo.gl/nTklys>)

De los gráficos se puede observar que hay dos valores posibles, uno para el lado acera y otro para el lado calzada, que se obtienen de las curvas de la siguiente manera.

Figura 56. – Determinación del factor de utilización.



Fuente: *Cálculo de instalaciones de alumbrado (2016)*  
 (<https://goo.gl/nTklys>)

Por tanto, para obtener el factor de utilización total de la sección transversal de la calle se suman los factores del lado acera y del lado calzada. Se representa como " $f_u$ ".<sup>[38]</sup>

$$f_u = f_{u1} + f_{u2} \quad (23)$$

Dónde:

$f_u$ = Factor de utilización [%]

$f_{u1}$ = Factor de utilización lado calzada [%]

$f_{u2}$ = Factor de utilización lado acera [%]

#### 4.1.10 Factor de mantenimiento [ $f_m$ ]

Es la razón entre la iluminancia media en el plano horizontal después de un periodo determinado de uso de la instalación y la iluminancia media obtenida al empezar la misma como nueva.<sup>[33]</sup>

Este factor Indica el grado de conservación de una instalación. Se representa como " $f_m$ ".<sup>[35]</sup>

$$f_m = f_{pl} * f_{dl} * f_t * f_e * f_c \quad (24)$$

Dónde:

$f_m$ = Factor de mantenimiento [%]

$f_{pl}$ = Factor posición lámpara [%]

$f_{dl}$ = Factor depreciación lámpara [%]

$f_t$ = Factor de temperatura [%]

$f_e$ = Factor equipo de encendido [%]

$f_c$ = Factor conservación de la instalación [%]

En la práctica el factor de mantenimiento está indicado en los catálogos de luminarias, o se puede determinar como:<sup>[35]</sup>

$$V = V_{la} * V_{lu} \quad (25)$$

Dónde:

V= Factor de envejecimiento [%]

$V_{la}$ = Factor de envejecimiento de la lámpara a un año [%]

$V_{lu}$ = Factor de suciedad de la luminaria a un año [%]

El factor de suciedad de la luminaria se debe tomar en cuenta para conocer la eficiencia del equipo después de 12 meses de operación. Después de ese tiempo, un equipo que no ha recibido mantenimiento, tiene un factor de envejecimiento equivalente a  $f_m$ .<sup>[35]</sup>

Tabla 8 – Factores de envejecimiento de una luminaria.

	Luminaria sin cubierta (abierta)	Luminaria con cubierta (cerrada)
Atmósfera contaminada	0.65	0.70
Atmósfera no contaminada	0.90	0.95

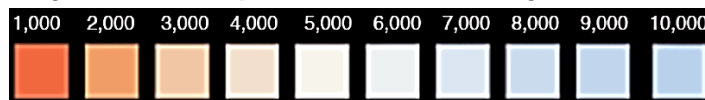
Fuente: Manual de Iluminación Vial (2015)  
(<https://goo.gl/4HFkrp>)

#### 4.1.11 Temperatura del color de la Luz

La temperatura de color es una medida científica para describir el nivel de “calidez” o “frialdad” de una fuente lumínica. Se basa en el color de la luz emitida por una fuente incandescente.

Al calentar una pieza de metal (un radiador de cuerpo negro teórico), éste cambia de color rojizo a naranja, amarillo blanco, blanco azulado. El color de la luz emitida por un objeto incandescente depende sólo de la temperatura. Por lo tanto se puede utilizar esta medida para describir el color de una fuente de luz por su “temperatura de color”.

Figura 57 – Temperaturas de color en grados kelvin.



Fuente: Manual de Iluminación Vial (2015)  
(<https://goo.gl/4HFkrp>)

Cuando se dice que una lámpara tiene una temperatura de color de 3000 grados Kelvin significa que un metal ardiente a 3000K producirá una luz del mismo color que la lámpara.

A partir de esta medida se pueden calificar las lámparas como: cálido, intermedio o frío.<sup>[35]</sup>

Tabla 9 – Apariencia de color

Apariencia de color	Temperatura de color (K)
Cálido	Por debajo de 3,300
Intermedio	De 3,300 a 5,300
Frío	Por encima de 5,300

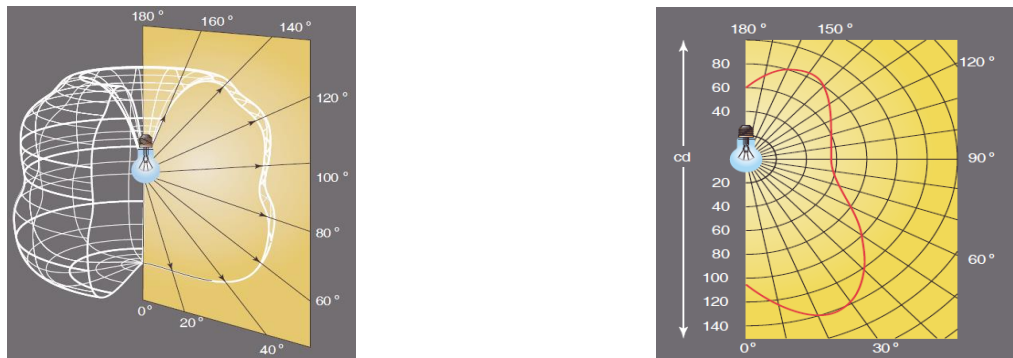
Fuente: Manual de Iluminación Vial (2015)  
(<https://goo.gl/4HFkrp>)



## 4.2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE MAGNITUDES

Las magnitudes luminosas producidas por fuentes de luz se pueden representar mediante graficas determinadas por los fabricantes de las lámparas y luminarias. Las fuentes de luz utilizadas en la práctica tienen una superficie luminosa cuya intensidad de radiación se ve afectada por la propia construcción de la fuente, presentando valores diversos en distintas direcciones. [35]

Figura 58 – Solido fotométrico y curva fotométrica de una lámpara incandescente.

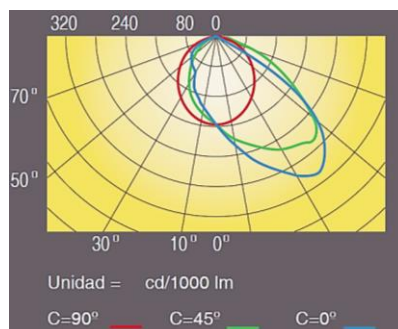


Fuente: Manual de Iluminación Vial (2015)  
(<https://goo.gl/4HFkrp>)

- Curvas de distribución fotométricas

Las curvas fotométricas se dan relacionadas a un flujo luminoso emitido de 1000 lm. Cuando una lámpara se aloja en un reflector, su flujo se distorsiona proporcionando un volumen cuya forma es distinta en cada dirección ya que depende de las características propias del reflector. Por lo tanto, las curvas de distribución son diferentes según los distintos planos en que se visualice. [35]

Figura 59 – Curva de distribución fotométrica asimétrica.

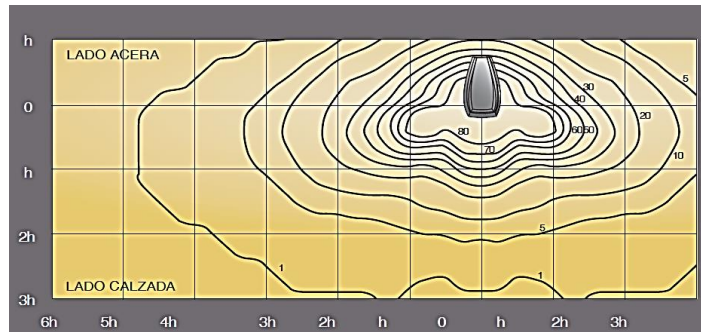


Fuente: Manual de Iluminación Vial (2015)  
(<https://goo.gl/4HFkrp>)

- Curvas Isolux

El flujo emitido por una fuente luminosa ofrece un nivel de iluminación en una superficie, que al ser proyectados sobre un mismo plano y uniendo por medio de una línea los valores de igual magnitud, da lugar a las curvas Isolux. [35]

Figura 60 – Curvas Isolux

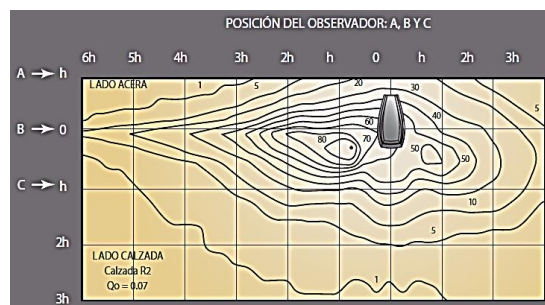


Fuente: Manual de Iluminación Vial (2015)  
(<https://goo.gl/4HFkrp>)

- Curvas Isoluminancias

Las luminancias dependen del flujo luminoso reflejado por una superficie en la dirección del observador. Las curvas de Isoluminancias se obtienen mediante las lecturas de un dispositivo electrónico denominado Luminómetro. [35]

Figura 61 – Curvas Isoluminancias.



Fuente: Manual de Iluminación Vial (2015)  
(<https://goo.gl/4HFkrp>)

### 4.3 EQUIPOS DE ALUMBRADO

El principal componente de un equipo de alumbrado es la luminaria empleada para un sector determinado. Una luminaria es un dispositivo que distribuye, filtra o controla la radiación luminosa emitida por una o varias lámparas y que contiene todos los accesorios necesarios para fijar, sostener y proteger las mismas.

La “Commission Internationale d’Eclairage” (CIE) clasifica las luminarias de acuerdo al grado de deslumbramiento aceptado. <sup>[35]</sup>

El deslumbramiento es un fenómeno de la visión generada por una inadecuada distribución de luminancias y/o contrastes excesivos. Esto produce molestia a la vista y disminución de la capacidad para distinguir objetos. <sup>[35]</sup>

Tabla 10 – Clasificación de luminarias de acuerdo a la CIE.

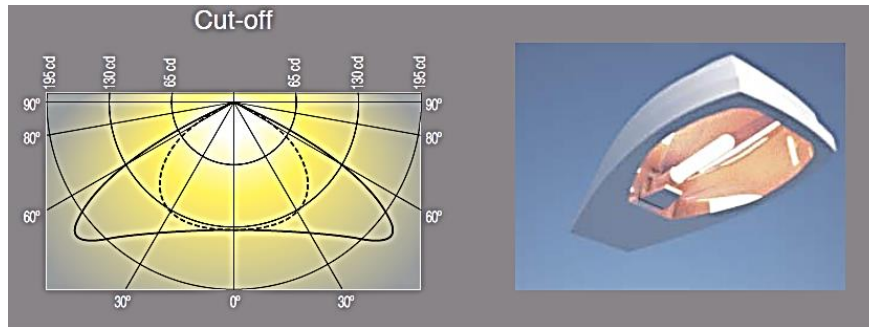
Tipo de Luminaria	Valor máximo permitido de intensidad emitida a un ángulo de elevación de 80°	Valor máximo permitido de intensidad emitida en un ángulo de elevación de 90°	Dirección de la intensidad máxima menor de:
CUT-OFF	30cd / 1000lm	10cd / 1000lm	65°
SEMI CUT-OFF	100cd / 1000lm	50cd / 1000lm	76°
NON CUT-OFF	Cualquiera	100cd independiente del flujo	-

Fuente: Manual de Iluminación Vial (2015)  
(<https://goo.gl/4HFkrp>)

#### 4.3.1 Luminaria CUT-OFF

Es aquella luminaria en la que la curva de repartición de la intensidad luminosa está estrictamente limitada en las direcciones que forman un ángulo igual o superior a 80° con relación a la vertical descendente. Es decir, muy próxima a la dirección usual de observación de los automovilistas y que es prácticamente nula en la horizontal. Esto para evitar deslumbramiento a los automovilistas. Se caracteriza por no poseer pantalla difusora, o poseer una pantalla lisa y transparente que no distorsione el flujo luminoso.

Figura 62 – Curva y luminaria CUT-OFF.

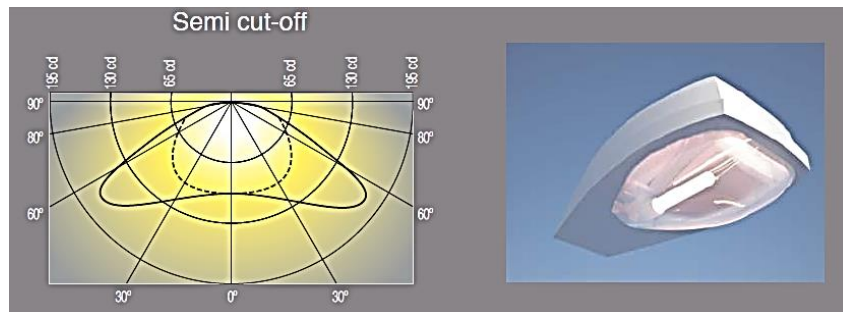


Fuente: Manual de Iluminación Vial (2015)  
(<https://goo.gl/4HFkrp>)

#### 4.3.2 Luminaria SEMI CUT-OFF

Es aquella en la que la curva de repartición de la intensidad luminosa es reducida en las direcciones que forman un ángulo igual o superior a 80° con relación a la vertical descendente, cerca de la dirección usual de observación de los automovilistas y que es muy débil en la horizontal. Se caracteriza por poseer una pantalla semi-curva que distorsiona levemente el flujo luminoso

Figura 63 – Curva de luminaria SEMI CUT-OFF.



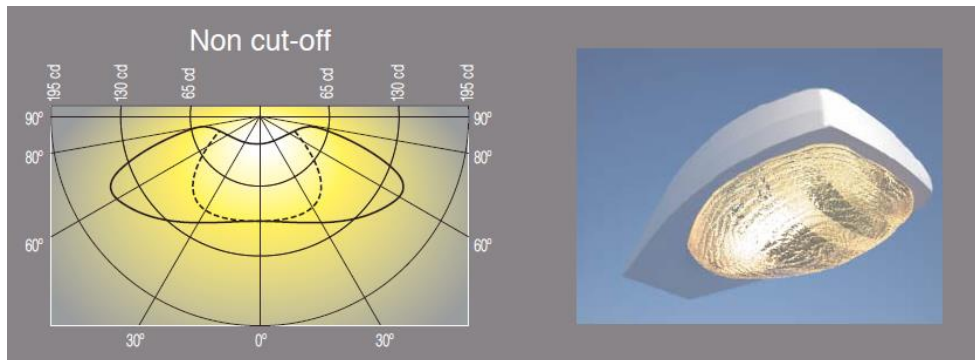
Fuente: Manual de Iluminación Vial (2015)  
(<https://goo.gl/4HFkrp>)

#### 4.3.3 Luminaria NON CUT-OFF

Es aquella en la que la intensidad luminosa en las direcciones que forman un ángulo igual o superior a 80° con relación a la vertical descendente no se reduce sensiblemente y en la que la intensidad en la horizontal puede exceder los valores especificados para una repartición SEMI CUT-OFF. Se caracteriza por tener una pantalla difusora de vidrio o policarbonato destinado a alterar la distribución del flujo luminoso.

Este tipo de luminarias no son recomendable instalarlas en carreteras o vías principales debido al enorme desperdicio de flujo luminoso hacia el espacio, causando contaminación lumínica y desperdicio energético. [35]

Figura 64 – Curva y luminaria NON CUT-OFF.



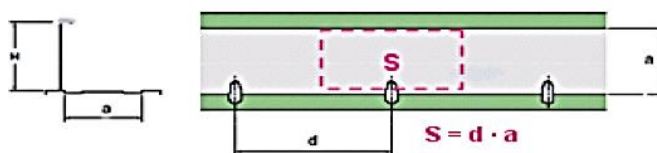
Fuente: Manual de Iluminación Vial (2015)  
(<https://goo.gl/4HFkrp>)

#### 4.4 CONFIGURACIÓN DE LUMINARIAS EN ZONAS DESTINADAS A TRÁNSITO VEHICULAR

##### 4.4.1 Unilateral

Todas las luminarias son ubicadas a un lado de la calzada. Frecuentemente se utiliza cuando el ancho de la calle es reducido.

Figura 65 – Configuración unilateral.

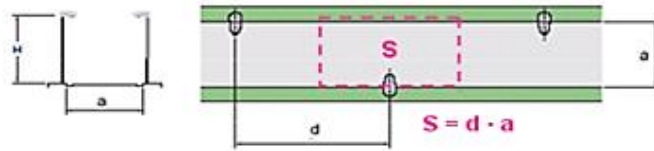


Fuente: Reglamento de alumbrado público SEC (2013) [37]

#### 4.4.2 Tresbolillo

Las luminarias se colocan en zig-zag. Puede traer problemas de sombras y lados oscuros.

Figura 66 – Configuración tresbolillo.

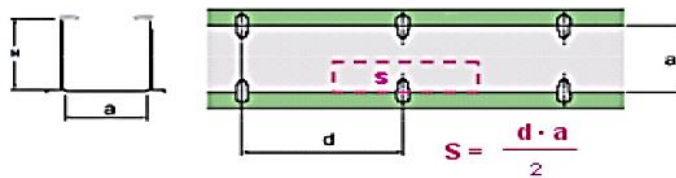


Fuente: Reglamento de alumbrado público SEC (2013)<sup>[37]</sup>

#### 4.4.3 En oposición

Las luminarias se colocan una en frente de la otra. Se utiliza para calles anchas.

Figura 67 – Configuración en oposición.

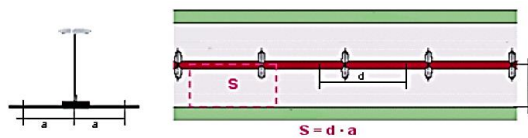


Fuente: Reglamento de alumbrado público SEC (2013)<sup>[37]</sup>

#### 4.4.4 Central con brazo doble

Se ubican las luminarias en la mediana central. Se utilizan generalmente en autopistas.

Figura 68 – Configuración central con brazo doble.



Fuente: Reglamento de alumbrado público SEC (2013)<sup>[37]</sup>

## Capítulo 5:    **NORMATIVA PARA PROYECTOS DE GENERACIÓN RENOVABLE**

### **5.1 NORMATIVA PARA PROYECTOS FOTOVOLTAICOS**

El Instituto Nacional de Normalización (INN) es el organismo que tiene a cargo el estudio y preparación de las normas técnicas asociadas a Energía Fotovoltaica.

Las normativas y especificaciones dadas a continuación son obtenidas de “Normas Energías Renovables: Energía Fotovoltaica” proporcionadas por la Comisión Nacional de Energía (CNE)

#### **5.1.1 NCh 2902.Of2004 (IEC 61836:1997)**

Esta norma se estudió para armonizar los términos y símbolos usados en las normas del área de los sistemas de energía solar fotovoltaica. <sup>[40]</sup>

- Comentario: Los términos y definiciones que aparecen en esta norma ya fueron expuestos en el capítulo 2.

#### **5.1.2 NCh 2927.Of2005 (IEC 61277:1995)**

Esta norma establece una guía y entrega una visión general de los sistemas generadores fotovoltaicos terrestres y de los elementos funcionales que los constituyen. <sup>[40]</sup>

- Comentario: Los sistemas y elementos que aparecen en esta norma fueron expuestos en el capítulo 2.

#### **5.1.3 NCh 2898.Of2004 (IEC 61194:1992)**

Esta norma define los principales parámetros eléctricos, mecánicos y ambientales que se necesitan para la descripción y análisis funcional de los sistemas fotovoltaicos autónomos. <sup>[40]</sup>

- Comentario: Algunos de parámetros expuestos en esta norma serán utilizados en el análisis fotovoltaico.

#### **5.1.4 NCh 2896.Of2004 (Thermie B SUP-995-96:2001)**

En esta norma se establecen los principios generales para la implementación de Sistemas Fotovoltaicos Domésticos (SFD) destinados a suministrar energía eléctrica para alimentar principalmente luminarias, radio, televisor, etc. Todos estos de bajo consumo.

Especifica las características técnicas del generador fotovoltaico, el regulador de carga, la batería y el cableado del SFD utilizado para alimentar las cargas.

Solo es aplicable en SFD que utilizan baterías de plomo ácido y operan en 12 V C.C. <sup>[40]</sup>

- Comentario: Esta norma expone varios requisitos obligatorios, recomendados y sugeridos para cada componente de un sistema fotovoltaico. Estos requisitos serán considerados en el análisis fotovoltaico.

#### **5.1.5 NCh 2978.Of2005 (IEC 61427:2005)**

Esta norma establece los requisitos que deben cumplir las baterías que se utilizan en sistemas fotovoltaicos implementados en viviendas y/o establecimientos rurales (no industriales) y los métodos de ensayo típicos utilizados para comprobar el comportamiento de las baterías. <sup>[40]</sup>

- Comentario: Los requisitos que expone esta norma serán estudiados y, en el caso de ser necesarios, serán considerados en el cálculo de baterías.

#### **5.1.6 NCh 2970.Of2005 (IEC 61683:1999)**

Esta norma describe las pautas de medición del rendimiento de los acondicionadores de potencia usados en los sistemas fotovoltaicos aislados y en los conectados a la red eléctrica, donde la salida del acondicionador de potencia es una tensión de corriente alterna (C.A.) estable a una frecuencia constante o a una tensión de corriente continua (C.C.) estable. <sup>[40]</sup>

- Comentario: Esta norma no será considerada en el análisis fotovoltaico.

#### **5.1.7 NCh 2940.Of2005 (IEC 61173:1992)**

El propósito de esta norma es servir de guía en la protección contra las sobretensiones en sistemas generadores fotovoltaicos, tanto si son autónomos como si están conectados a la red de distribución. <sup>[40]</sup>

- Comentario: Esta norma será considerada en el análisis fotovoltaico.

#### **5.1.8 NCh 2903/1.Of2004 (IEC 60904-1:1 1987)**

Esta norma establece los procedimientos para medir las características corriente-tensión de los dispositivos fotovoltaicos de silicio cristalino con luz solar natural o simulada. Estos procedimientos son aplicables a una celda solar única, a un subconjunto de celdas solares o a un módulo plano. <sup>[40]</sup>

- Comentario: Esta norma está orientada a la realización de ensayos con probetas. Por lo tanto no será considerada.



### 5.1.9 NCh 2903/2.Of2004 (IEC 60904-2:1 1989)

Esta norma describe los requisitos relativos a la clasificación, selección, encapsulado, marcado, calibración y cuidados de las celdas solares de referencia. <sup>[40]</sup>

- Comentario: Una celda solar de referencia es una celda calibrada que se usa para medir irradiancia o para fijar el nivel de irradiancia de un simulador. Esta norma no será considerada.

### 5.1.10 Ch 2903/3.Of2004 (IEC 60904-3:1989)

Esta norma especifica los principios de medición para determinar las características de los dispositivos solares fotovoltaicos definidos en el alcance y campo de aplicación de la norma. <sup>[40]</sup>

- Comentario: Esta norma está orientada determinar las capacidades eléctricas a través de ensayos con simuladores solares. Por lo tanto no será considerada.

### 5.1.11 NCh 2903/10.Of2004 (IEC 60904-10:1998)

Esta norma describe los procedimientos usados para determinar el grado de linealidad de cualquier parámetro de un dispositivo fotovoltaico respecto a un parámetro de ensayo. <sup>[40]</sup>

- Comentario: Esta norma está indicado para el uso en laboratorios de calibración y fabricantes de módulos. Por lo tanto no será considerada

### 5.1.12 NCh 2925.Of2005

Esta norma especifica el ensayo que determina la resistencia del módulo fotovoltaico a la corrosión debido a la niebla salina. El ensayo es útil para evaluar la compatibilidad de los materiales y la calidad y uniformidad de los recubrimientos protectores. <sup>[40]</sup>

- Comentario: Esta norma considera realizar un ensayo del módulo fotovoltaico. No será aplicada.

### 5.1.13 NCh 2922.Of2005

Esta norma especifica el ensayo que determina la susceptibilidad de un módulo a sufrir daños por un impacto accidental. <sup>[40]</sup>

- Comentario: Esta norma se utiliza para determinar la resistencia del módulo fotovoltaico al impacto. Se realiza montando el modulo en forma vertical frente a un péndulo, el cual se deja caer en el centro de éste. Esta norma no será aplicada.

#### **5.1.14 NCh 2956.Of2005 (IEC 61646:1996)**

Esta norma establece los requisitos para la calificación del diseño y la aprobación de tipo de módulos fotovoltaicos de lámina delgada (silicio amorfo) apropiados para operar durante largos períodos de tiempo en climas moderados (al aire libre). El objeto de esta secuencia de ensayos es determinar las características eléctricas y térmicas del módulo y demostrar, en la medida de lo posible que el modulo es capaz de soportar una exposición prolongada en los climas descritos dentro de la norma.<sup>[40]</sup>

- Comentario: Esta norma se aplica en laboratorios de ensayos. Por lo tanto no será considerada.

#### **5.1.15 NCh 2976.Of2005**

Esta norma establece los requisitos para la calificación del diseño y la aprobación de tipo de módulos fotovoltaicos para aplicación terrestre adecuados para operar durante largos períodos de tiempo en climas no extremos (al aire libre). Esta norma se aplica solamente a módulos de tipo silicio cristalino.

El objeto de esta secuencia de ensayos es determinar las características eléctricas, mecánicas y térmicas del módulo y demostrar que el módulo es capaz de resistir una exposición prolongada en los climas indicados en la norma.<sup>[40]</sup>

- Comentario: Esta norma se aplica para ensayos de calificación. Por lo tanto no será considerada.

### **5.2 NORMATIVA PARA PROYECTOS EÓLICOS**

El Instituto Nacional de Normalización (INN) es el organismo que tiene a cargo el estudio y preparación de las normas técnicas asociadas a Aerogeneradores.

Las normativas y especificaciones dadas a continuación son obtenidas de “Normas Energías renovables: Aerogeneradores” proporcionadas por la Comisión Nacional de Energía (CNE).

#### **5.2.1 NCh 1437/415.Of2005 (IEC 60050-415:1999)**

Esta norma se estudió para establecer los términos y definiciones relativos a los aerogeneradores. En ella se establece el vocabulario electrotécnico internacional utilizado en relación a los aerogeneradores, definiendo aquellos conceptos que son específicos de esta área.

<sup>[39]</sup>

- Comentario: Los términos y definiciones que aparecen en esta norma ya fueron expuestos en el capítulo 3.

### 5.2.2 NCh 2946/1.Of2005 (IEC 61400-1:1999)

Esta norma especifica los requerimientos mínimos de seguridad para los aerogeneradores, asegurando la calidad e integridad de la ingeniería asociada a los aerogeneradores, incluyendo su diseño, instalación, mantenimiento y operación en condiciones externas específicas.<sup>[39]</sup>

El objetivo de esta norma es fijar un nivel adecuado de protección contra los riesgos y daños que estos sistemas podrían causar durante su tiempo de vida prevista.

Esta norma se aplica a aerogeneradores, con una superficie barrida mayor o igual que 40 m<sup>2</sup> (equivalente a palas del orden de 3.5 m de longitud).<sup>[39]</sup>

- Comentario: Puesto que el propósito de este proyecto de tesis será generar un alumbrado híbrido autónomo, utilizando un panel solar en conjunto con un aerogenerador, no se utilizará un aerogenerador de las dimensiones especificadas en esta norma, ya que bastará con uno de menores dimensiones. Por lo tanto la presente norma no será revisada ni estudiada.

### 5.2.3 NCh 2946/2.Of2005 (IEC 61400-2:1996)

Esta norma expone de forma general los requisitos mínimos de seguridad de los aerogeneradores pequeños. Determina lo relativo a seguridad, aseguramiento de la calidad y la integridad de la ingeniería de aerogeneradores pequeños (AGP), incluidos su diseño, su instalación y su mantenimiento.

El objetivo de esta norma es fijar un nivel adecuado de protección contra los riesgos y daños que estos sistemas podrían causar durante su tiempo de vida prevista.

Esta norma se aplica a los AGP que tienen una superficie barrida menor que 40 m<sup>2</sup> (equivalente a palas del orden de 3.5 m de longitud) y funcionan a una tensión menor que 1000 V en corriente alterna (C.A.) o menor que 1500 V en corriente continua (C.C.).

Para la protección de los AGP se deben utilizar uno o más sistemas de protección para mantener el AGP dentro de los límites de diseño. En particular, deben existir medios disponibles para prevenir que se supere la velocidad límite de rotación. El fabricante debe precisar un procedimiento seguro para detener el AGP, incluyendo una especificación de la velocidad máxima del viento.

La estructura soporte debe estar pensada para resistir a las cargas de diseño a las que se vea sometido. Esta debe ser tal que no exista peligro de contacto accidental con las partes móviles del AGP, ni con personas que transiten por el lugar. En los casos en que un AGP esté sujeto a una

estructura de soporte existente, se deben utilizar dispositivos de anclaje y unión adecuados al caso de carga, y tener protección contra la corrosión.

Se debe proteger a las personas y a los animales de los daños procedentes de los contactos directos e indirectos con las piezas eléctricas del AGP bajo tensión. <sup>[39]</sup>

- Comentario: Esta norma será considerada para escoger un AGP que responda a las necesidades del proyecto.

#### **5.2.4 NCh 2946/12.Of2005 (IEC 61400-2:1996)**

El propósito de esta norma es proporcionar una metodología uniforme que asegure la coherencia y precisión en la medida y análisis de la curva de potencia de un aerogenerador.

Las características de la curva de potencia del aerogenerador se determinan por la curva de potencia medida, y la producción anual de energía estimada (PAE). La curva de potencia medida se debe determinar adquiriendo, en el lugar de ensayo, medidas simultáneas de la velocidad del viento y de la salida de potencia, durante un periodo lo suficientemente largo como para establecer una base de datos estadísticamente significativa que cubra un rango de velocidades y diferentes condiciones de viento.

La PAE se calcula aplicando la curva de potencia medida frente a la distribución de frecuencias de ocurrencia de los distintos rangos de la velocidad del viento de referencia, asumiendo un 100% de disponibilidad del aerogenerador. Una distribución de Rayleigh o una distribución de Weibull, se puede usar como distribución de frecuencia de la velocidad del viento de referencia. <sup>[39]</sup>

- Comentario: La toma de datos de vientos no es aplicable puesto q estos datos serán obtenidos de la estación meteorológica más cercana al lugar de estudio. El manejo de estos datos serán tratados de acuerdo a esta norma utilizando una de las distribuciones estadísticas nombradas.

### 5.2.5 NCh 2946/13.Of2005 (IEC/TS 61400-13:2001)

Esta norma especifica las mediciones de carga mecánica de las turbinas eólicas para el proceso de diseño estructural de estas. Se aplica a aerogeneradores, con una superficie de barrida mayor o igual que 40 m<sup>2</sup> (equivalente a palas del orden de 3.5 m de longitud).<sup>[39]</sup>

- Comentario: Esta norma no será revisada ni estudiada, puesto que está orientada al diseño y fabricación de un aerogenerador. Además las dimensiones de la superficie de barrido son mayores a las que se considerarán en los capítulos siguientes.

### 5.2.6 NCh 2946/24.Of2006 (IEC/TS 61400-13:2001)

Esta norma fue desarrollada para informar a los diseñadores, compradores, organismos de certificación e instaladores de turbinas eólicas acerca de la tecnología sobre protección contra rayos de los aerogeneradores. Se Identifican los problemas genéricos involucrados en la protección contra rayos de turbinas eólicas.<sup>[39]</sup>

- Comentario: El análisis de instalar un sistema de protección contra rayos está orientado al diseño se aerogeneradores de medianas y grandes dimensiones, en los que una falla producida por el impacto de un rayo resulta un grandes pérdidas funcionales y económicas. No se considerará esta norma para no aumentar el costo económico del proyecto.

### 5.2.7 NCh 2955/24.Of2006 (IEC WT 01:2001)

Esta norma especifica un sistema de certificación para aerogeneradores que expone reglas para los procedimientos y manejo para llevar a cabo la evaluación de conformidad de los aerogeneradores con respecto a normas específicas y otros requisitos técnicos, relativos a seguridad, fiabilidad, comportamiento, ensayo e interconexión con redes eléctricas.<sup>[39]</sup>

- Comentario: El objetivo de la norma es el de facilitar el comercio internacional de aerogeneradores en el país con el cumplimiento de la normativa de certificación, los cuales se llevan a cabo en laboratorios de ensayos cumpliendo con las normas ISO 9001. Por lo tanto esta norma no será revisada ni estudiada.

### 5.3 REGULACIÓN URBANA PARA LUMINARIAS PÚBLICAS

La regulación urbana para luminarias públicas existente en Chile está basada en distintas normas internacionales y publicaciones de empresas relacionadas a la iluminación vial, asimilados y adaptados para la realidad de nuestro país.

Las especificaciones dadas a continuación son obtenidas del “Manual de Carreteras” elaborado por la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas (MOP), y complementan las normas y reglamentos vigentes de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).

El objetivo general de aplicar estas normas en un diseño de iluminación para cualquier ruta vial, es proporcionar las máximas condiciones de confort y seguridad en la conducción para los usuarios, considerando eventualmente ciclovías y cruces peatonales comprendidas en dicha vía. Esto para reducir el riesgo de accidentes por falta de iluminación. <sup>[33]</sup>

#### 5.3.1 Tipos de Superficies de Rodadura

Las normas de la Commission Internationale d’Eclairage (CIE) y asimiladas por Illuminating Engineering Society (IES) de Estados Unidos, en general, utilizan los mismos parámetros para clasificar el tipo de pavimento en función del coeficiente medio de luminancia de la superficie, el que representa la relación entre la luminancia de un punto y la iluminancia horizontal en ese mismo punto. <sup>[33]</sup>

$$Q_0 = \frac{L}{E} \quad (26)$$

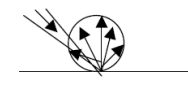
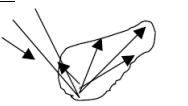
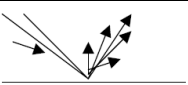
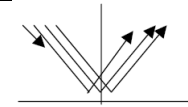
Dónde:

$Q_0$ = Coeficiente medio de luminancia de la superficie.

$L$ = Luminancia [ $\frac{cd}{m^2}$ ].

$E$ = Iluminancia [lx].

Tabla 11 – Reflexión según tipo de capa de rodadura

<b>Tipo de capa de Rodadura</b>	<b>Coefficiente Luminancia <math>Q_0</math></b>	<b>Tipo de Reflexión</b>	
Superficie de Hormigón	0.10	Superficie difusa	 R1: Superficie difusa
Superficie de asfalto tipo tratamiento superficial	0.07	Ligeramente difusa (mixta)	 R2: Ligeramente difusa
Superficie de asfalto tipo concreto asfáltico	0.07	Ligeramente brillante	 R3: Ligeramente brillante
Superficie de asfalto con textura muy fina, tipo sello bituminoso	0.08	Superficie brillante	 R4: Superficie brillante

Fuente: Manual de carreteras (2014)<sup>[33]</sup>

Estos coeficientes definen, con cierta aproximación, las características de reflexión de las superficies comúnmente utilizadas en Chile.

La norma CIE clasifica de la misma manera las superficies de rodadura utilizando un factor R, que relaciona la iluminancia y la luminancia de forma inversa al coeficiente medio de luminancia.<sup>[33]</sup>

$$R = \frac{E}{L} \qquad R = \frac{1}{Q_0} \qquad (27)$$

Dónde:

R= Factor R, depende de las características ópticas de cada recubrimiento.

$Q_0$ = Coeficiente medio de luminancia de la superficie.

L= Luminancia [ $\frac{cd}{m^2}$ ].

E= Iluminancia [lx].

Tabla 12 – Factor R para diferentes tipos de recubrimientos

	Tipo de recubrimiento	Luminarias cut-off	Luminarias semicut-off
	Concreto limpio	12	8
	Concreto sucio	14	10
	Asfalto emblanquecido	19	14
	Asfalto gris	19	14
	Asfalto obscuro	24	18
	Empedrados	18	13

Fuente: Manual de Iluminación Vial (2015)  
 (<https://goo.gl/4HFkrp>)



### 5.3.2 Clasificación de carreteras

Los criterios establecidos por la CIE establecen los valores de intensidades medias diarias de tráfico (IMD) que se deben tomar en cuenta para iluminar una carretera. <sup>[35]</sup>

Tabla 13 – Valores límites de IMD recomendados para iluminación.

Tipo de vía	IMD mínima para iluminar
Carreteras convencionales	12,000
Periféricos y autopistas	22,000
Intersecciones	4,000
Entronques	7,000

Fuente: Manual de Iluminación Vial (2015)  
(<https://goo.gl/4HFkrp>)

Además se establece una clasificación de los diferentes tipos de carreteras.

Tabla 14 – Clasificación CIE para diferentes tipos de carreteras.

Tipo de vía	Tipos de usuarios				Tipo de carretera
	M	S	C	P	
Carreteras de calzadas separadas con cruces a distinto nivel y accesos controlados (autopistas y autovías).	M				A1
Carreteras de calzada única de doble sentido de circulación y accesos limitados (vías rápidas).					
Carreteras interurbanas sin separación de aceras o carril bici.		S			A2
Vías colectoras y rotondas de circunvalación.					
Carreteras interurbanas con accesos no restringidos.		S	C	P	A3

Dónde:

M: Tráfico motorizado. S: Vehículos en movimiento lento. C: Ciclistas. P: Peatones.

Fuente: Manual de Iluminación Vial (2015)  
(<https://goo.gl/4HFkrp>)

### 5.3.3 Selección de clases de alumbrado

Teniendo las características de la carretera a iluminar se puede seleccionar la clase de alumbrado según la serie ME establecida por la CIE.

Tabla 15 – Clases de alumbrado para carreteras.

Carretera tipo:	Tipos de vías	Clase de alumbrado serie ME
A1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carreteras de calzadas separadas con cruces a distinto nivel y accesos controlados (autopistas y autovías)</li> <li>* Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de carreteras: Alta (IMD) &gt; 25,000 Media (IMD) - Entre 15,000 y 25,000 Baja (IMD) &lt; 15,000</li> </ul>	ME 1 ME 2 ME 3a
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carreteras de calzada única de doble sentido de circulación y accesos limitados (vías rápidas)</li> <li>* Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera: Alta (IMD) &gt; 15,000 Media y baja (IMD) &lt; 15,000</li> </ul>	ME 1 ME 2
A2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carreteras interurbanas sin separación de aceras o carriles bici.</li> <li>* Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera.</li> <li>* Control de tráfico y separación de los distintos tipos de usuarios</li> <li>* Parámetros específicos</li> </ul>	ME 1 ME 2 ME 3a ME 4a
A3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vías, colectoras y rotondas de circunvalación.</li> <li>• Carreteras interurbanas con accesos no restringidos.</li> <li>* Intensidades de tráfico y complejidad del trazado de la carretera.</li> <li>* Control de tráfico y separación de los distintos tipos de usuario.</li> <li>* Parámetros específicos.</li> </ul>	ME 1 ME 2 ME 3b ME 4a ME 4b

Fuente: Manual de Iluminación Vial (2015)  
(<https://goo.gl/4HFkrp>)

Luego de seleccionar la clase de alumbrado, se puede obtener las características que deberán presentar éstas. <sup>[35]</sup>

Tabla 16 – Clases de alumbrado serie ME.

Clase de alumbrado serie ME *	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas		
	Luminancia media Lm (cd/m <sup>2</sup> )	Uniformidad global U <sub>o</sub>	Uniformidad longitudinal U <sub>l</sub>
ME 1	2.0	0.4	0.7
ME 2	1.5	0.4	0.7
ME 3	a	1.0	0.4
	b	1.0	0.6
ME 4	a	0.75	0.4
	b	0.75	0.5

Fuente: Manual de Iluminación Vial (2015)  
(<https://goo.gl/4HFkrp>)

Las normas recomiendan niveles de luminancia mínimos entre 0.5 y 2.2  $\frac{cd}{m^2}$  dependiendo de la intensidad del tránsito, superficie del pavimento y clasificación del tipo de calzada. [33]

Para determinar la iluminancia se utiliza la siguiente tabla, proporcionada por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) en su reglamento de alumbrado público. [37]

Tabla 17 – Clasificación vías de tránsito vehicular.

DESCRIPCIÓN DE VÍAS DE TRÁNSITO VEHICULAR	CLASE DE ALUMBRADO
Calzadas de Alto Prestigio	P1
Uso nocturno intenso por peatones o por ciclistas.	P2
Uso nocturno moderado por peatones o por ciclistas.	P3
Uso nocturno menor por peatones o por ciclistas únicamente asociados con propiedades adyacentes.	P4
Uso nocturno menor únicamente asociado con propiedades adyacentes. Importante preservar el carácter arquitectónico del entorno, según lo determine la autoridad municipal correspondiente.	P5
Uso nocturno muy reducido únicamente asociado con propiedades adyacentes. Importante preservar el carácter arquitectónico del entorno, según lo determine la autoridad municipal correspondiente.	P6

Fuente: Reglamento alumbrado público SEC (2013) [37]

Tabla 18 – Iluminancias por clase de Alumbrado.

CLASE DE ALUMBRADO	MEDIA MAXIMA (Lux)	MEDIA (Lux)	PUNTUAL MINIMA (Lux)
P1	25,0	20,0	7,5
P2	12,5	10,0	3,0
P3	9,5	7,5	1,5
P4	6,5	5,0	1,0
P5	4,0	3,0	0,6
P6	2,0	1,5	0,2

Fuente: Reglamento alumbrado público SEC (2013) <sup>[37]</sup>

La misma entidad establece que para determinar globalmente el nivel de iluminancia horizontal media en una instalación de alumbrado se utiliza la siguiente expresión: <sup>[37]</sup>

$$E_m = \frac{\Phi * f_u * f_m}{A * d} \quad (28)$$

Dónde:

$E_m$  = Nivel de iluminancia media a un año [Lx].

$\Phi$  = Flujo luminoso de la luminaria instalada [lm].

$f_u$  = Factor de utilización.

$f_m$  = Factor de mantenimiento.

A = Ancho total de camino [m].

d = Distancia entre luminarias [m].

## Capítulo 6: DISEÑO DE LUMINARIA LED EN EL PUENTE LLACOLÉN

El puente Llacolén (ubicación: 36°50'03"S 73°4'44"O) posee una longitud de 2157m y una anchura de 22m, su altura es de 10m aproximadamente, dependiendo de las crecidas del río Bío-Bío. Es un importante tramo de cuatro pistas que conecta Concepción y San Pedro de la Paz, utilizado intensamente en ambos sentidos. Posee un paseo peatonal de 3m de ancho que es usado regularmente por peatones y ciclistas.

Figura 69 – Puente Llacolén



*Fuente: Google Maps (2016)*

Generalmente las luminarias públicas utilizan lámparas de dos tipos, llamadas comúnmente:

- Lámpara de Vapor de Sodio.
- Lámpara de Vapor de Mercurio.

La Lámpara de Vapor es un tipo de lámpara de descarga de gas que utiliza vapor de estos elementos para producir Luz. El color de la luz que producen es amarillo brillante y azul verdosa, respectivamente.

### 6.1 SISTEMA ACTUAL DE ILUMINACIÓN

Sobre el puente se encuentran 49 postes a intervalos de 39m, sobre una distancia efectiva de 1911m a lo largo de éste. El poste como tal presenta una altura de 20m desde la plataforma, pero la luminaria se encuentra a 15m aproximadamente por diseño, como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 70 – Poste del puente Llacolén.



*Fuente: Elaboración propia (2015)*

La luz emitida por la luminaria existente es amarillo brillante, por lo tanto se trata de una lámpara de vapor de sodio. La potencia utilizada generalmente en proyectos de iluminación con lámparas de vapor de sodio, se encuentran en: 150W, 200W, 250W, 400W y 600W dependiendo de los usos y los sectores en donde se utilicen.

La lámpara más utilizada en alumbrados públicos es el de 250W y 400W. Por tratarse de un tramo de alto flujo y particularmente de un puente, la lámpara más adecuada que se debería utilizar es la de vapor de sodio de 400W.

Partiendo de esa base, se procederá a analizar el sistema actual de iluminación existente en el puente, para una lámpara de vapor de sodio de 400W:

En el ANEXO 4 se encuentra el catálogo de una lámpara vapor de sodio de 400W como las que se encuentran en el mercado. Se utilizarán los datos de cálculo de este catálogo para el siguiente análisis:

Figura 71 – Luminaria puente Llacolén



*Fuente: Elaboración propia (2015)*

En la figura 71 se puede apreciar que la luminaria no posee una pantalla difusora, por lo tanto se trata del tipo CUT-OFF.

En la Tabla 7 se puede obtener el factor de envejecimiento de la luminaria. Con una atmosfera no contaminada, al ser un lugar abierto, el factor será de  $V_{lu} = 0.90$ .

Del ANEXO 4 se obtiene el factor de envejecimiento de la lámpara  $V_{la} = 0.97$  en 4000 horas de funcionamiento, si se considera que la lámpara permanece encendida 12 horas/día durante 1 año.

Por lo tanto utilizando la ecuación (25) se obtiene el factor de mantenimiento de la luminaria:

$$f_m = V_{la} * V_{lu}$$

$$f_m = 0.97 * 0.90$$

$$f_m \cong 0.8$$

La norma CIE clasifica las superficies de calzada utilizando un factor R. Considerando la superficie del puente como concreto sucio; al ser un tramo de alto flujo, y considerando el hecho de que las luminarias existentes son del de tipo CUT-OFF, se determina de la Tabla 11 que el valor R es 14.

Del ANEXO 4 se obtienen los siguientes datos de cálculo:

Potencia= 400 W

Eficiencia=  $120 \frac{lm}{W}$

$\Phi = 48000$  Lm

$T^\circ = 2000$  K

De las condiciones físicas del entorno se obtienen los siguientes datos:

Altura de luminaria (h)= 15m

Distancia entre luminarias (d)= 39m

Ancho de calzada (A)= 22m

El factor de utilización se obtiene utilizando un gráfico para determinarla con la relación A/h. Como la información del grafico no está disponible ya que es propio de cada modelo de luminaria, se supondrá que en el diseño de la instalación se consideró un buen factor de utilización, esto debido a que la altura de luminaria es considerable si se compara con otras instalaciones de iluminación. Para efectos de cálculos teóricos se utilizará un  $f_u \cong 0.8$ .

Utilizando la Ecuación (28) se obtiene el nivel de Iluminancia media teórica de la instalación:

$$E_m = \frac{\Phi * f_u * f_m}{A * d}$$

$$E_m = \frac{48000 * 0.8 * 0.8}{22 * 39}$$

$$E_m \cong 35.8 \text{ Lx}$$

Para determinar el nivel de Luminancia, se despeja de la ecuación (27):

$$L = \frac{E}{R}$$

$$L = \frac{35.8}{14}$$

$$L \cong 2.6 \frac{\text{Cd}}{\text{m}^2}$$

## 6.2 SISTEMA DE ILUMINACIÓN QUE SE DESEA IMPLEMENTAR

El sistema de iluminación que se expondrá a continuación, cambiará el tipo de luminaria y el método de consumo energético de estas. Se cambiarán las luminarias de vapor de sodio existentes por luminarias leds y se aislará el consumo energético de la red eléctrica para ser un sistema autónomo de consumo híbrido de fuentes eólica y fotovoltaica.

Se estudiarán las luminarias Leds existentes en el mercado, analizando sus características técnicas para así cumplir las normativas y regulaciones urbanas. Por normativa urbana, la clasificación CIE más adecuada para clasificar el puente Llacolén según la Tabla 13, es el tipo de carretera A1.

Teniendo el tipo de carretera, se recurre a la Tabla 14 para establecer la clase de alumbrado según la serie ME. Para carretera tipo A1 se tienen las siguientes clases de alumbrado: ME1, ME2, ME3a. Como el tipo de vía que se analiza posee un flujo vehicular superior a 2400 vehículos/hora en horario punta <sup>[43]</sup>, se establece un alto IMD. Por lo tanto se utilizará una clase de alumbrado ME1.

Las características que deben presentar las clases de alumbrado de la serie ME1, aparecen en la

Tabla 15:  $L_m = 2.0 \left[ \frac{\text{Cd}}{\text{m}^2} \right]$ ,  $U_0 = 0.4$ ,  $U_L = 0.7$ .



Para determinar la Iluminancia se utiliza la Tabla 16. En ella se establecen las clases de alumbrado según una descripción del tipo de vía. Para calzadas de alto prestigio se designa una clase de alumbrado P1.

Las características que deberán presentar la clase P1 aparecen en la Tabla 17:

$$E_{media\ máxima} = 25.0\ Lux, \quad E_{media} = 20.0\ lux, \quad E_{puntual\ mínima} = 7.5\ Lux$$

Para el diseño de los sistemas de alumbrado de puentes integrados a carreteras o autopistas provistas con sistemas de iluminación, se deben considerar mayores criterios de calidad, siendo el nivel de iluminación del puente superior al nivel de iluminación de la carretera a la que está integrada. <sup>[35]</sup>

Considerando lo anterior, se buscará una luminaria LED que satisfaga los valores presentados por normativa y los acerque a los valores del sistema actual de iluminancia.

La luminaria led escogida se encuentra en el ANEXO 5. Es una luminaria tipo CUT-OFF marca Schreder, modelo Akila, de potencia 236 W y flujo luminoso 28800 lm.

Del ANEXO 5 se obtienen los siguientes datos de cálculo:

$$\text{Potencia} = 236\text{W}$$

$$\Phi = 28800\text{ lm}$$

$$\text{Eficiencia} = 122 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

$$T^\circ = 4250\text{ K}$$

$$f_m = 0.9$$

De las condiciones físicas del entorno se obtienen los siguientes datos:

$$\text{Altura de luminaria (h)} = 15\text{m}$$

$$\text{Ancho de calzada (A)} = 22\text{m}$$

$$\text{Factor R} = 14$$

El factor de utilización no se encuentra disponible en el catálogo de esta luminaria, por lo tanto se asumirá un valor de referencia  $f_u \cong 0.9$ . Esto debido a que por lo general las luminarias leds presentan mayor factor de utilización al disponer de todos sus diodos en dirección hacia la calzada; al contrario del resto de luminarias, en que la lámpara ilumina en todas direcciones debiendo utilizar reflectores para direccionarla.

Se considerará para efectos de cálculos una iluminancia media de  $E_m = 30\text{Lx}$ .

Utilizando la Ecuación (28) se obtiene la distancia teórica entre luminarias:

$$E_m = \frac{\Phi * f_u * f_m}{A * d}$$

$$d = \frac{\Phi * f_u * f_m}{A * E_m}$$

$$d = \frac{28800 * 0.9 * 0.9}{22 * 30}$$

$$d = 35.3 \text{ m}$$

$$d \cong 35 \text{ m}$$

Para determinar el nivel de Luminancia, se despeja de la ecuación (27):

$$L = \frac{E}{R}$$

$$L = \frac{30}{14}$$

$$L \cong 2.14 \frac{Cd}{m^2}$$

Como la distancia total de las luminarias consideradas es 1911m, y la distancia entre luminarias es 35m; la cantidad de luminarias requeridas será:

$$\text{Cantidad de luminarias} = \frac{\text{Distancia total}}{\text{distancia entre luminarias}}$$

$$\text{Cantidad de luminarias} = \frac{1911m}{35m}$$

$$\text{Cantidad de luminarias} \cong 54.6$$

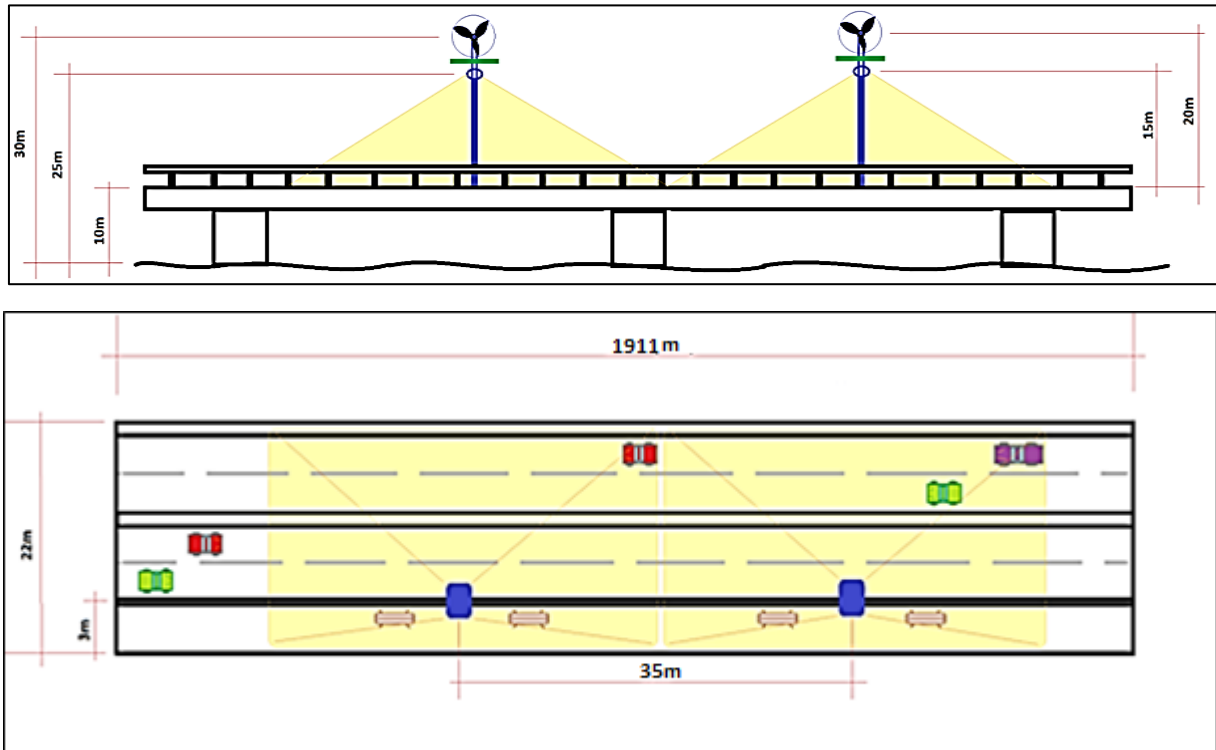
$$\text{Cantidad de luminarias} = 55$$

Como medida de seguridad, los postes de alumbrado son colocados en la parte exterior de los barandales, dejando la zona central de circulación libre de obstáculos, logrando con ello dar mayor seguridad a los conductores y al mismo tiempo se evita que las luminarias queden fuera del ángulo visual de los usuarios, logrando mayor confort visual al conductor. <sup>[35]</sup>

El aerogenerador será instalado en el extremo superior del poste, y el(los) panel(s) fotovoltaico(s) serán instalados sobre las luminarias, en el mástil principal.

Se tiene que las dimensiones generales del diseño de luminarias serán las siguientes:

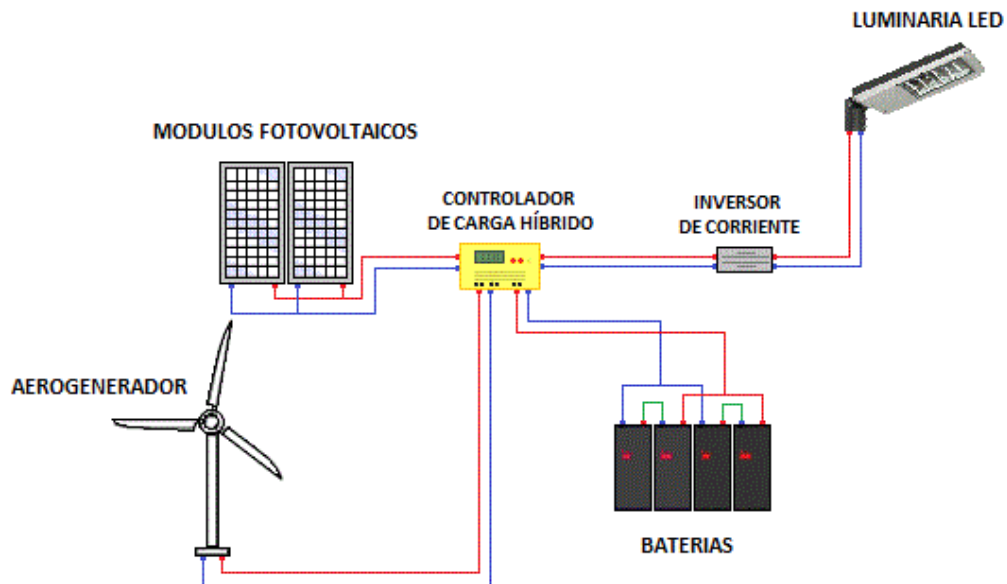
Figura 72 – Dibujo lateral y superior de una sección del Puente Llacolén.



Fuente: Elaboración propia (2016)

El diseño de luminaria híbrida autónoma contempla el uso de los siguientes componentes:

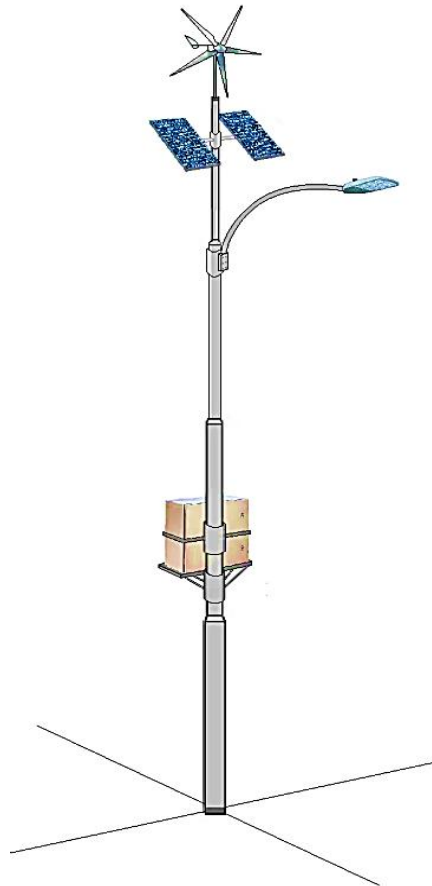
Figura 73 – Componentes internos del sistema de iluminación híbrida.



Fuente: Elaboración propia (2016)

Si bien los dispositivos leds son diodos que operan a corriente continua, las luminarias existentes en el mercado que operan a CC son aún de baja potencia, siendo inadecuadas para satisfacer la demanda lumínica del sector. Por lo tanto, se opta por escoger una luminaria led de mayor potencia que opere con corriente alterna. Debido a esto, se hace necesario implementar un inversor de corriente en el sistema.

Figura 74 – Diseño externo del sistema de iluminación híbrida.



*Fuente: Elaboración propia (2016)*

Se considerará una caja metálica para albergar los componentes eléctricos, como el controlador de carga, el inversor de corriente y las baterías. Esto para protegerlos de las inclemencias del tiempo como radiación, lluvia y polvo. Esta caja se considera instalarla en altura para evitar actos vandálicos.

## Capítulo 7: ANALISIS TÉCNICO

### 7.1 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL SOLAR EN CONCEPCIÓN

El potencial solar para cada sector del país y del mundo ya se encuentra estimado a través de distintos software y a través de los datos proporcionados por la NASA. A continuación se presenta la radiación media en Concepción, con distintas inclinaciones y Azimut.

Tabla 19 – Radiación global mensual y anual en diferentes inclinaciones y Azimut, para Concepción.

Az	inclinación [°]	ENERO [kWh/m <sup>2</sup> ]	FEBRERO [kWh/m <sup>2</sup> ]	MARZO [kWh/m <sup>2</sup> ]	ABRIL [kWh/m <sup>2</sup> ]	MAYO [kWh/m <sup>2</sup> ]	JUNIO [kWh/m <sup>2</sup> ]	JULIO [kWh/m <sup>2</sup> ]	AGOSTO [kWh/m <sup>2</sup> ]	SEPTIEMBRE [kWh/m <sup>2</sup> ]	OCTUBRE [kWh/m <sup>2</sup> ]	NOVIEMBRE [kWh/m <sup>2</sup> ]	DICIEMBRE [kWh/m <sup>2</sup> ]	ANUAL [kWh/m <sup>2</sup> ]
180° al Norte	27	200.0	170.4	159.5	119.6	81.3	54.7	72.6	104.7	131.3	165.8	181.1	190.6	1631.5
	36	190.8	161.0	157.2	121.0	87.5	61.7	80.7	111.6	132.5	160.4	176.1	182.3	1622.8
	37	187.4	164.1	158.5	122.9	85.2	57.7	76.6	108.4	131.9	161.2	171.0	177.5	1602.4
	47	171.0	154.2	154.2	123.4	87.3	59.4	78.9	109.7	129.6	153.1	157.7	160.8	1539.1
	57	151.2	141.3	146.3	121.2	87.4	59.8	79.4	108.6	124.5	142.1	141.0	141.1	1443.9
	90	91.1	87.7	105.0	98.1	75.6	52.8	69.8	90.3	93.8	92.8	85.6	87.2	1029.9
150°	27	195.8	163.2	151.0	112.0	75.9	52.1	68.3	97.5	123.8	160.2	175.4	188.0	1563.2
	37	184.9	157.1	147.7	113.2	78.3	54.3	71.0	99.2	122.2	154.8	167.1	177.0	1526.9
	47	179.3	154.7	140.0	111.9	79.1	55.3	72.3	98.8	118.2	148.6	162.6	170.6	1491.4
	57	163.3	141.0	135.7	108.1	78.1	55.2	71.9	96.2	114.0	138.8	148.3	155.5	1406.1
		90	120.9	108.0	105.6	81.5	64.8	47.5	61.2	74.5	87.4	106.9	110.9	113.2
120°	27	194.1	162.5	140.0	98.8	65.3	45.3	58.7	84.1	115.9	153.9	175.0	186.3	1479.9
	37	197.9	157.0	144.9	99.7	67.7	41.8	57.8	88.4	115.2	153.5	173.8	192.2	1489.9
	47	191.1	163.1	137.5	105.4	64.1	42.7	56.1	90.3	114.0	153.0	172.4	181.4	1471.0
	57	177.4	149.4	143.0	99.5	64.2	43.5	57.4	82.9	118.9	146.3	158.1	182.7	1423.3
		90	159.3	136.7	132.1	81.9	52.1	34.5	46.1	67.8	104.8	133.3	142.9	149.1
90°	27	193.8	154.3	133.4	90.6	57.3	40.0	51.4	77.0	106.5	146.7	175.1	185.5	1411.5
	37	188.6	157.8	134.4	89.8	58.1	37.3	49.3	79.0	108.7	148.3	170.5	180.2	1401.9
	47	195.5	153.4	133.4	93.4	56.8	39.7	51.2	77.5	104.9	151.2	168.9	194.3	1419.9
	57	193.8	151.0	136.1	87.5	61.7	34.5	51.8	76.5	107.9	140.8	175.1	182.2	1399.1
		90	161.6	140.0	113.4	78.0	55.5	37.6	49.8	69.2	84.0	137.5	144.9	151.2
0° al Sur	27	183.5	134.2	98.6	53.8	32.3	24.5	29.3	45.0	75.8	123.9	160.3	183.4	1144.6
	37	166.1	117.4	80.3	41.9	31.3	23.7	28.4	38.8	61.0	107.2	144.5	168.1	1008.7
	47	72.6	62.4	55.1	40.4	30.1	22.7	27.2	37.3	49.1	63.7	70.1	76.4	607.0
	57	70.1	61.6	54.8	38.7	28.6	21.5	25.8	35.6	46.9	64.5	67.4	73.5	589.1
		90	86.0	53.8	44.2	31.7	22.7	16.7	20.4	28.7	38.3	51.2	73.7	90.9

Fuente: Modificado de Registro Solarimétrico (2008) <sup>[44]</sup>

### 7.2 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO EN CONCEPCIÓN

- Información histórica de vientos para Concepción

Para determinar la velocidad de los vientos que circulan en Concepción se utilizaron los datos de la estación meteorológica Carriel Sur, Concepción.

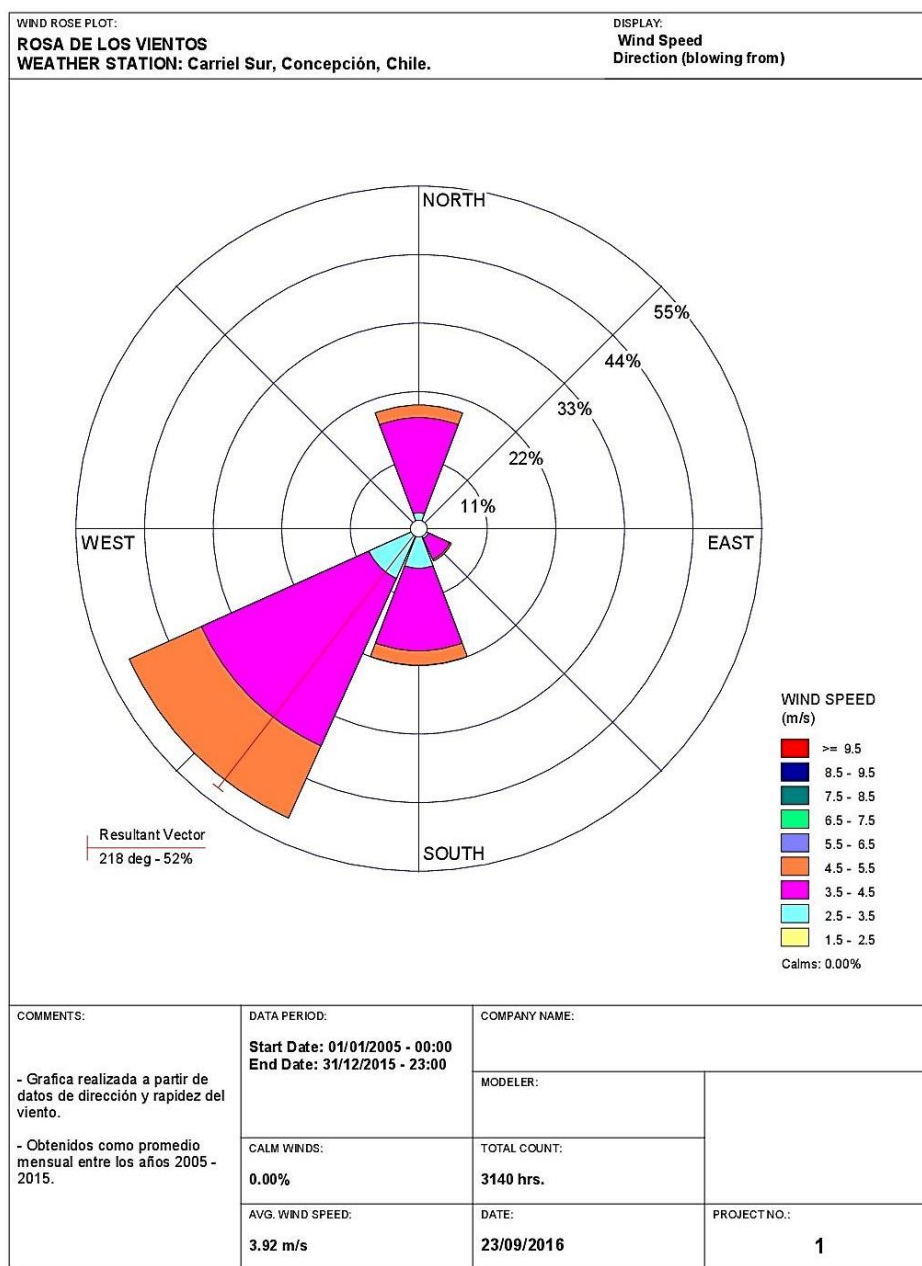
A partir de los datos obtenidos de esta estación se realizó una clasificación de dirección y rapidez del viento entre los años 2005 y 2015. Los datos de dirección fueron obtenidos y filtrados de la

Dirección General de Aeronáutica Civil. <sup>[41]</sup> Además los datos de rapidez fueron obtenidos y filtrados de la página web “Tu Tiempo” que entrega los históricos del clima en la ciudad desde 1973 hasta el presente año. <sup>[42]</sup>

- Rosa de los vientos

Los datos de dirección se presentan en el ANEXO1. Estos datos de dirección fueron ingresados en el software “WRPLOT view” para obtener la gráfica siguiente:

Figura 75 – Rosa de los vientos para Concepción



Fuente: Elaboración propia (2016).

Esta grafica da información sobre las distribuciones de velocidades y frecuencias del viento.

La rosa fue dividida en 8 sectores N, NE, E, SE, S, SO, O y NO. Se aprecia que la frecuencia relativa predominante del viento proviene desde el Sudoeste, siendo cerca del 55% del tiempo que el viento sopla desde esta dirección. Además se aprecia que desde esta dirección la rapidez de vientos predominante se encuentra entre 3.5 y 4.5 m/s.

La interpretación de la rosa de los vientos es útil para posicionar correctamente las máquinas eólicas. Si una gran parte de la energía del viento viene de la dirección descrita, lo ideal será posicionar los aerogeneradores de frente a esta dirección.

Además se debe analizar el entorno próximo para verificar la presencia de obstáculos.

Figura 76 – Puente Llacolén



Fuente: Modificado de Google Maps (2016)

Figura 77 – Puente Llacolén



Fuente: Modificado de Google Maps (2016).

De la figura 76 y la figura 77 se puede observar que no existen obstáculos próximos al puente, solo arbustos menores en las orillas del río Bío-Bío.

Además, hacia el Sudoeste el relieve es relativamente plano; como se aprecia en la figura 78, lo que favorece el ingreso de vientos costeros de mayor intensidad.

Figura 78 – Relieve zona de interés.



Fuente: Modificado de Google Maps (2016).

- Velocidad media diaria

Los datos de rapidez del viento se encuentran en el ANEXO 2. Estos datos fueron recopilados de la estación meteorológica Carriel Sur, Concepción; el cual presenta su punto de medición a 12m de altura.

Como estos datos fueron realizados a 12m, se realizó una extrapolación para modificarlos hasta la altura de diseño prevista de 30m.

Para ello se utilizó la expresión del perfil logarítmico expuesta en la ecuación (4).

$$v = v_{ref} * \frac{\ln \frac{h}{h_0}}{\ln \frac{h_{ref}}{h_0}}$$

Dónde:

$v$  = Rapidez del viento que se desea estimar, a 30m sobre el nivel del suelo por diseño.

$v_{ref}$  = Rapidez del viento a 12m sobre el nivel del suelo, disponible en el ANEXO 2.

$h_{ref}$  = 12m

$h$  = 30m por diseño.

$h_0$  = 0.0024m. Determinada por la Tabla 1.



Se modificó cada una de las rapideces de vientos del ANEXO 2 utilizando la expresión anterior para llevarlas de 12m a 30m. Los resultados se encuentran en el ANEXO 3.

- Potencial eólico

Como el ANEXO 3 presenta gran cantidad de datos, fue necesario tratarlos de forma estadística para poder manipularlas e interpretarlas. Para ello se utilizó el método de distribución de Weibull, ya que es más versátil que la distribución de Rayleigh, al trabajar con la frecuencia del viento para cada valor de velocidad.

La distribución de Weibull es una función matemática que permite estimaciones satisfactorias de asimetría en la distribución de una densidad de probabilidad. Es decir, es una función utilizada para predecir la variación del viento en una localización específica, haciendo posible describir el comportamiento del viento y también estimar la producción de energía para una localización.

Para tratar preliminarmente estos datos, se agruparon por meses todas las rapideces de vientos del ANEXO 3, desde el año 2005 hasta el 2015, y se clasificaron por intervalos: [1.5 – 2.5[ [2.5 – 3.5[ [3.5 – 4.5[ ..., según la variación de rapideces existente en cada mes.

Utilizando el método de los mínimos cuadrados fue posible transformar la función densidad de probabilidad de Weibull en una ecuación lineal de regresión y obtener a través de su grafica el parámetro de forma “k” y el parámetro de escala “C” para cada mes.

Con estos parámetros fue posible utilizar la fórmula distribución de Weibull, expuesta en la ecuación 4, para obtener un valor de distribución para cada rango de rapideces de viento. Estos valores son la probabilidad de ocurrencia con las que se produce cada uno de los intervalos de vientos.

Posteriormente se obtuvo el potencial teórico (normalizado por el área de barrido del rotor) utilizando la ecuación (13), para cada intervalo. Este potencial teórico se ponderó por el valor de la distribución de Weibull de cada intervalo de vientos para posteriormente sumarlos y obtener el potencial teórico del mes.

Para la obtención del potencial aprovechable se utilizó la ecuación (14) que considera la ley de Betz, para cada intervalo de vientos. Así finalmente al sumarlos se obtuvo el potencial eólico aprovechable del mes.

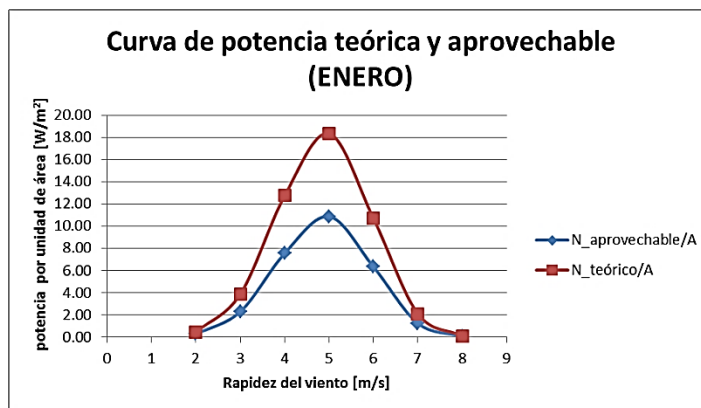
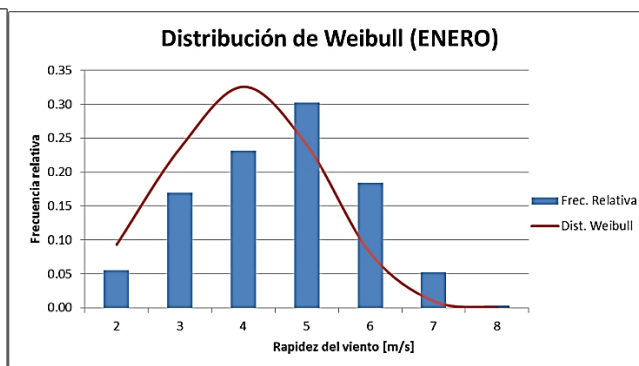
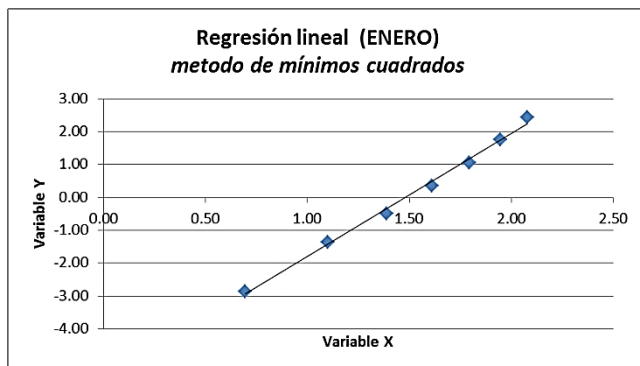
A continuación se exponen los resultados explicados anteriormente, para cada mes del año:

**ENERO:**

Tabla 20 – Valores distribución de Weibull y potencias para Enero.

velocidad m/s	intervalo m/s	Frecuencia	Frec. Relativa	Frec. Ac. F(v)	Variable X Ln(v)	Variable Y ln(-ln(1-F(v)))	Dist. Weibull	N teórico/A W/m^2	N aprovechable/A W/m^2
2	[1.5 - 2.5[	19	0.06	0.06	0.69	-2.86	0.09	0.46	0.27
3	[2.5 - 3.5[	58	0.17	0.23	1.10	-1.36	0.24	3.89	2.31
4	[3.5 - 4.5[	79	0.23	0.46	1.39	-0.49	0.33	12.77	7.57
5	[4.5 - 5.5[	103	0.30	0.76	1.61	0.35	0.24	18.36	10.88
6	[5.5 - 6.5[	63	0.18	0.94	1.79	1.06	0.08	10.70	6.34
7	[6.5 - 7.5[	18	0.05	1.00	1.95	1.76	0.01	2.12	1.26
8	[7.5 - 8.5[	1	0.00	1.00	2.08	2.44	0.00	0.11	0.07
		<b>341</b>	<b>1.00</b>				<b>0.99</b>	<b>48.41</b>	<b>28.69</b>

k	3.74
c (m/s)	4.39

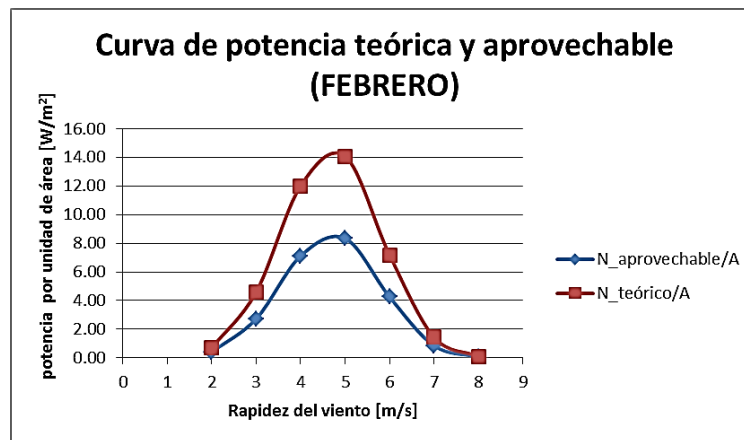
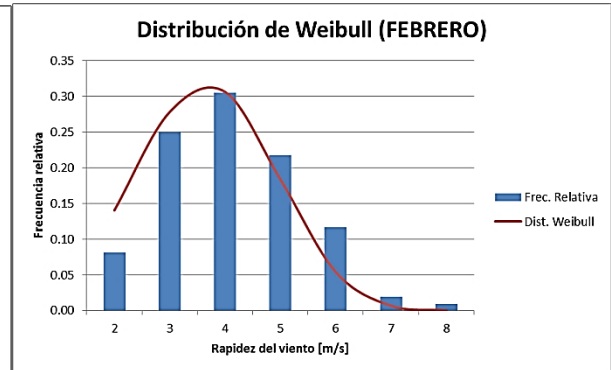
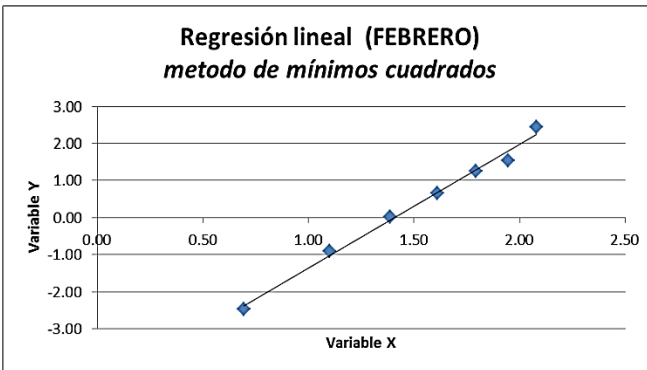


**FEBRERO:**

Tabla 21 – Valores distribución de Weibull y potencias para Febrero.

velocidad	intervalo	Frecuencia	Frec. Relativa	Frec. Ac.	Variable X	Variable Y	Dist. Weibull	N teórico/A	N aprovechable/A
m/s	m/s			F(v)	Ln(v)	ln(-ln(1-F(v)))		W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>
2	[1.5 - 2.5[	25	0.08	0.08	0.69	-2.47	0.14	0.69	0.41
3	[2.5 - 3.5[	77	0.25	0.33	1.10	-0.91	0.28	4.60	2.73
4	[3.5 - 4.5[	94	0.31	0.64	1.39	0.01	0.31	12.01	7.12
5	[4.5 - 5.5[	67	0.22	0.85	1.61	0.65	0.18	14.07	8.34
6	[5.5 - 6.5[	36	0.12	0.97	1.79	1.26	0.05	7.17	4.25
7	[6.5 - 7.5[	6	0.02	0.99	1.95	1.53	0.01	1.43	0.85
8	[7.5 - 8.5[	3	0.01	1.00	2.08	2.44	0.00	0.10	0.06
		<b>308</b>	<b>1.00</b>				<b>0.97</b>	<b>40.07</b>	<b>23.74</b>

k	3.34
c (m/s)	4.08

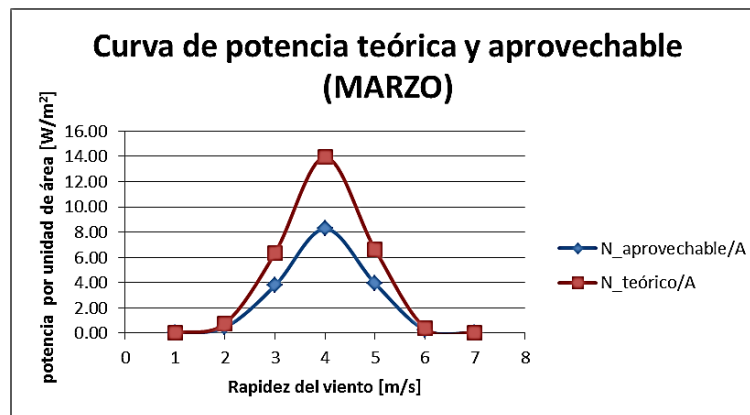
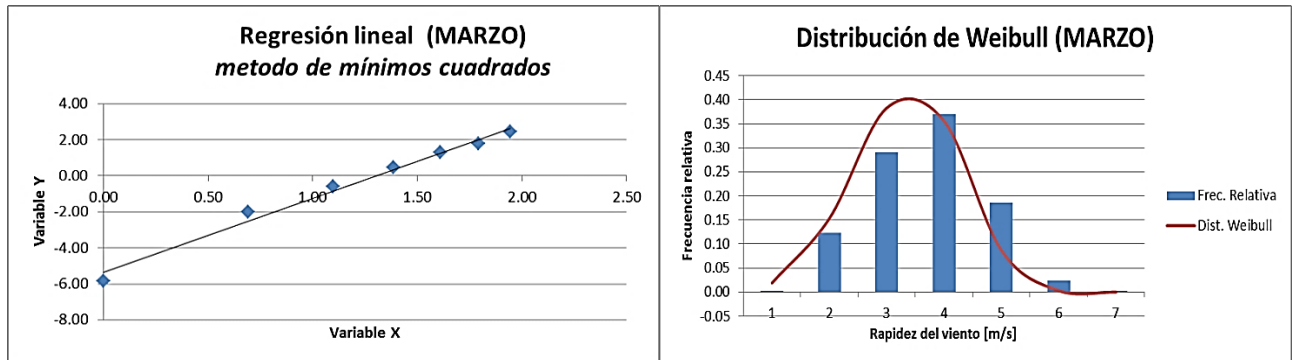


**MARZO:**

Tabla 22 – Valores distribución de Weibull y potencias para Marzo.

velocidad	intervalo	Frecuencia	Frec. Relativa	Frec. Ac.	Variable X	Variable Y	Dist. Weibull	N teórico/A	N aprovechable/A
m/s	m/s			F(v)	Ln(v)	ln(-ln(1-F(v)))		W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>
1	[0 - 1.5[	1	0.00	0.00	0.00	-5.83	0.02	0.01	0.01
2	[1.5 - 2.5[	42	0.12	0.13	0.69	-2.00	0.15	0.75	0.44
3	[2.5 - 3.5[	99	0.29	0.42	1.10	-0.61	0.38	6.33	3.75
4	[3.5 - 4.5[	126	0.37	0.79	1.39	0.44	0.36	13.94	8.26
5	[4.5 - 5.5[	63	0.19	0.97	1.61	1.29	0.09	6.64	3.93
6	[5.5 - 6.5[	8	0.02	1.00	1.79	1.76	0.00	0.40	0.24
7	[6.5 - 7.5[	1	0.00	1.00	1.95	2.44	0.00	0.00	0.00
		<b>340</b>	<b>1.00</b>				<b>1.00</b>	<b>28.07</b>	<b>16.63</b>

k	4.12
c (m/s)	3.69

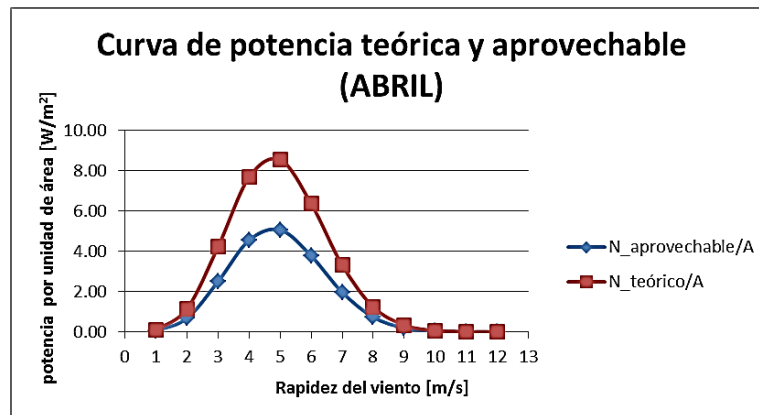
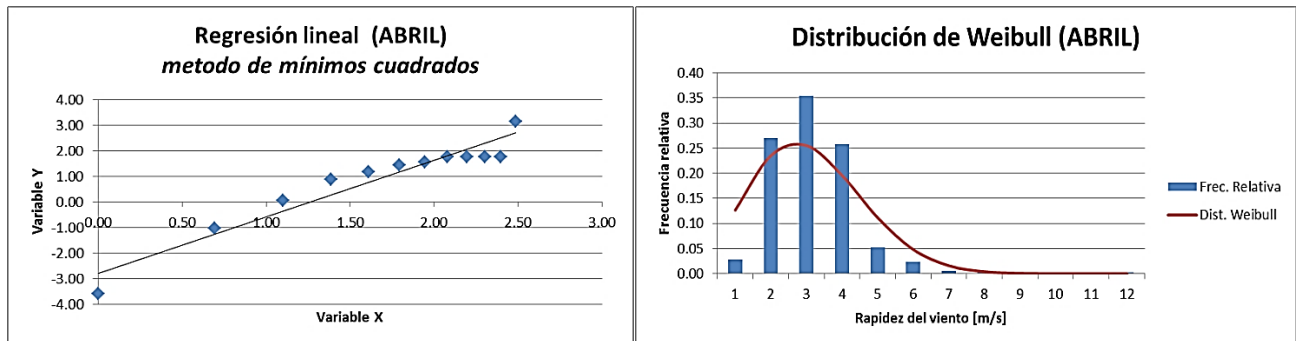


**ABRIL:**

Tabla 23 – Valores distribución de Weibull y potencias para Abril.

velocidad	intervalo	Frecuencia	Frec. Relativa	Frec. Ac.	Variable X	Variable Y	Dist. Weibull	N_teorico/A	N_aprovechable/A
m/s	m/s			F(v)	Ln(v)	ln(-ln(1-F(v)))		W/m^2	W/m^2
1	[0 - 1.5[	9	0.03	0.03	0.00	-3.59	0.13	0.08	0.05
2	[1.5 - 2.5[	89	0.27	0.30	0.69	-1.04	0.24	1.15	0.68
3	[2.5 - 3.5[	117	0.35	0.65	1.10	0.05	0.26	4.22	2.50
4	[3.5 - 4.5[	85	0.26	0.91	1.39	0.87	0.20	7.67	4.55
5	[4.5 - 5.5[	17	0.05	0.96	1.61	1.17	0.11	8.53	5.06
6	[5.5 - 6.5[	8	0.02	0.98	1.79	1.43	0.05	6.35	3.76
7	[6.5 - 7.5[	2	0.01	0.99	1.95	1.55	0.02	3.31	1.96
8	[7.5 - 8.5[	2	0.01	1.00	2.08	1.76	0.00	1.23	0.73
9	[8.5 - 9.5[	0	0.00	1.00	2.20	1.76	0.00	0.33	0.20
10	[9.5 - 10.5[	0	0.00	1.00	2.30	1.76	0.00	0.07	0.04
11	[10.5 - 11.5[	0	0.00	1.00	2.40	1.76	0.00	0.01	0.01
12	[11.5 - 12.5[	1	0.00	1.00	2.48	3.14	0.00	0.00	0.00
		<b>330</b>	<b>1.00</b>				<b>0.99</b>	<b>32.97</b>	<b>19.53</b>

k	2.21
c (m/s)	3.55

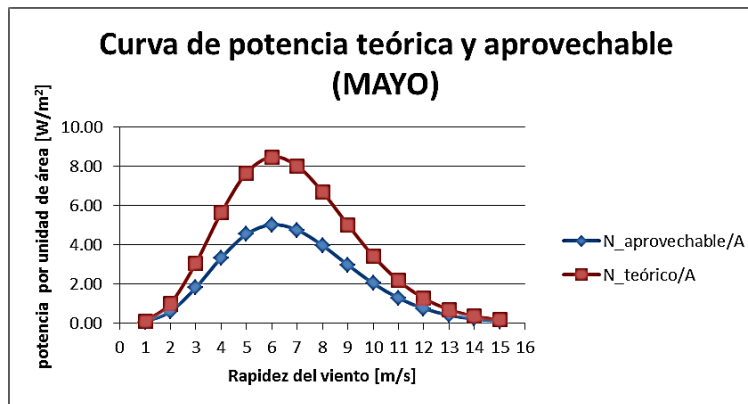
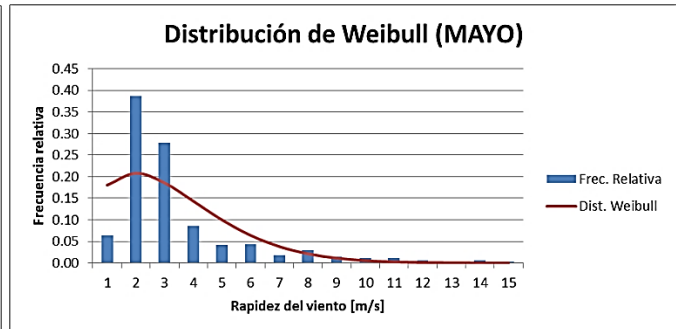
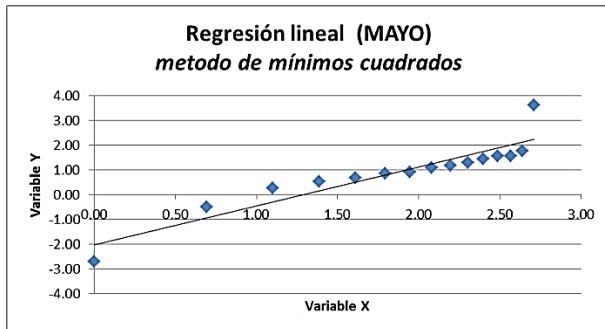


**MAYO:**

Tabla 24 – Valores distribución de Weibull y potencias para Mayo.

velocidad	intervalo	Frecuencia	Frec. Relativa	Frec. Ac.	Variable X	Variable Y	Dist. Weibull	N_teorico/A	N_aprovechable/A
m/s	m/s			F(v)	Ln(v)	ln(-ln(1-F(v)))		W/m^2	W/m^2
1	[0 - 1.5[	22	0.06	0.06	0.00	-2.71	0.18	0.11	0.07
2	[1.5 - 2.5[	132	0.39	0.45	0.69	-0.51	0.21	1.02	0.60
3	[2.5 - 3.5[	95	0.28	0.73	1.10	0.27	0.19	3.07	1.82
4	[3.5 - 4.5[	29	0.09	0.82	1.39	0.52	0.14	5.62	3.33
5	[4.5 - 5.5[	14	0.04	0.86	1.61	0.66	0.10	7.65	4.54
6	[5.5 - 6.5[	15	0.04	0.90	1.79	0.84	0.06	8.47	5.02
7	[6.5 - 7.5[	6	0.02	0.92	1.95	0.92	0.04	8.02	4.75
8	[7.5 - 8.5[	10	0.03	0.95	2.08	1.08	0.02	6.69	3.96
9	[8.5 - 9.5[	5	0.01	0.96	2.20	1.18	0.01	5.02	2.97
10	[9.5 - 10.5[	4	0.01	0.97	2.30	1.29	0.01	3.43	2.04
11	[10.5 - 11.5[	4	0.01	0.99	2.40	1.44	0.00	2.17	1.28
12	[11.5 - 12.5[	2	0.01	0.99	2.48	1.55	0.00	1.27	0.75
13	[12.5 - 13.5[	0	0.00	0.99	2.56	1.55	0.00	0.70	0.41
14	[13.5 - 14.5[	2	0.01	1.00	2.64	1.76	0.00	0.36	0.21
15	[14.5 - 15.5[	1	0.00	1.00	2.71	3.60	0.00	0.18	0.10
		<b>341</b>	<b>1.00</b>				<b>0.96</b>	<b>53.78</b>	<b>31.87</b>

k	1.58
c (m/s)	3.64

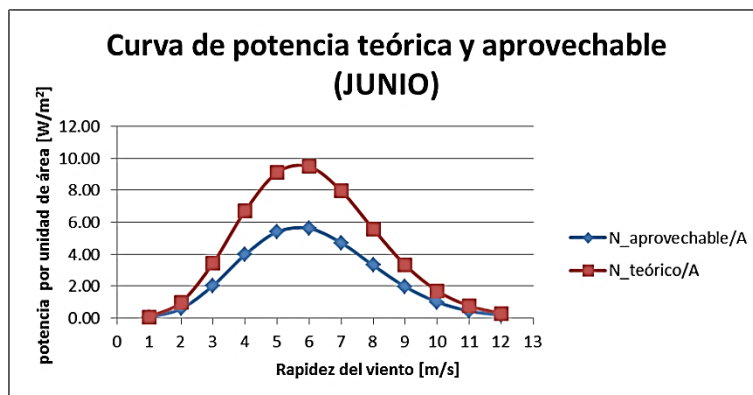
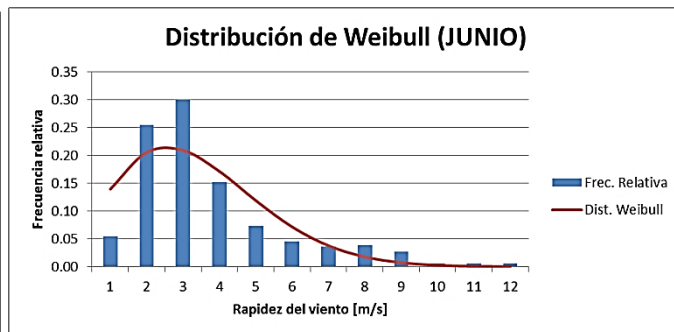
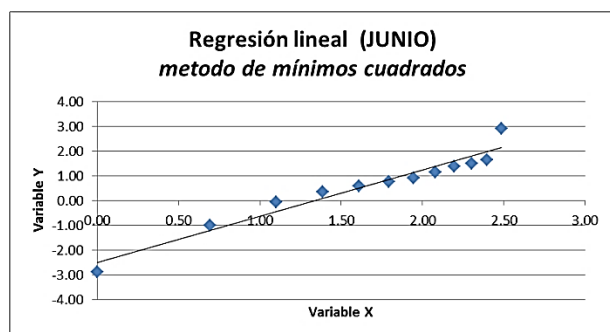


**JUNIO:**

Tabla 25 – valores distribución de Weibull y potencias para Junio.

velocidad m/s	intervalo m/s	Frecuencia	Frec. Relativa	Frec. Ac. F(v)	Variable X Ln(v)	Variable Y ln(-ln(1-F(v)))	Dist. Weibull	N teórico/A W/m <sup>2</sup>	N aprovechable/A W/m <sup>2</sup>
1	[0 - 1.5[	18	0.05	0.05	0.00	-2.88	0.14	0.09	0.05
2	[1.5 - 2.5[	84	0.25	0.31	0.69	-0.99	0.21	1.01	0.60
3	[2.5 - 3.5[	99	0.30	0.61	1.10	-0.06	0.21	3.46	2.05
4	[3.5 - 4.5[	50	0.15	0.76	1.39	0.36	0.17	6.72	3.98
5	[4.5 - 5.5[	24	0.07	0.83	1.61	0.58	0.12	9.11	5.40
6	[5.5 - 6.5[	15	0.05	0.88	1.79	0.75	0.07	9.47	5.61
7	[6.5 - 7.5[	12	0.04	0.92	1.95	0.90	0.04	7.96	4.72
8	[7.5 - 8.5[	13	0.04	0.95	2.08	1.13	0.02	5.58	3.31
9	[8.5 - 9.5[	9	0.03	0.98	2.20	1.39	0.01	3.33	1.97
10	[9.5 - 10.5[	2	0.01	0.99	2.30	1.48	0.00	1.71	1.02
11	[10.5 - 11.5[	2	0.01	0.99	2.40	1.63	0.00	0.77	0.46
12	[11.5 - 12.5[	2	0.01	1.00	2.48	2.91	0.00	0.30	0.18
		<b>330</b>	<b>1.00</b>				<b>0.98</b>	<b>49.51</b>	<b>29.34</b>

k	1.87
c (m/s)	3.84

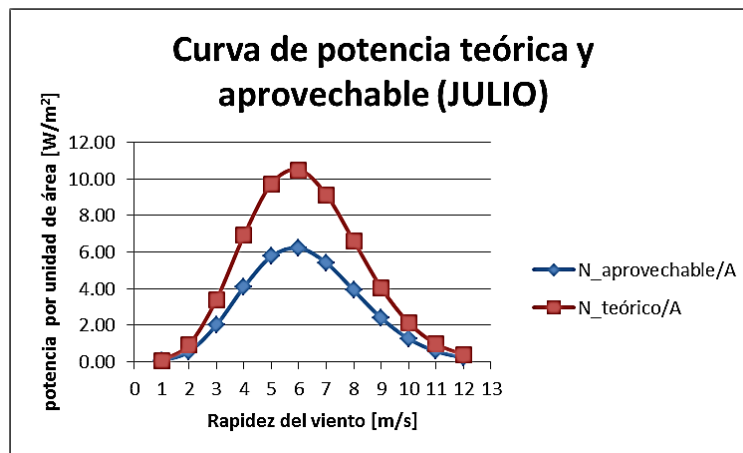
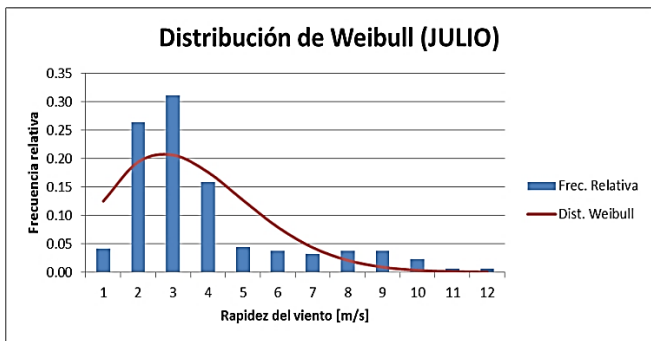
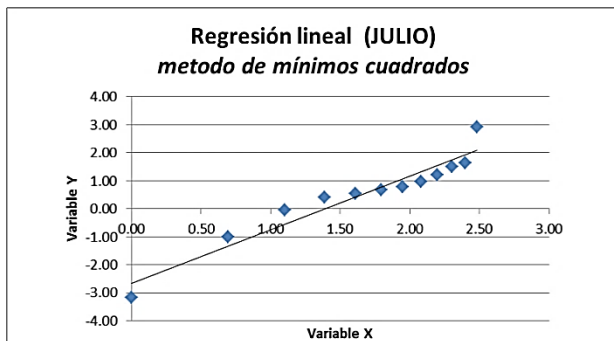


**JULIO:**

Tabla 26 – valores distribución de Weibull y potencias para Julio.

velocidad m/s	intervalo m/s	Frecuencia	Frec. Relativa	Frec. Ac. F(v)	Variable X Ln(v)	Variable Y ln(-ln(1-F(v)))	Dist. Weibull	N teórico/A W/m <sup>2</sup>	N aprovechable/A W/m <sup>2</sup>
1	[0 - 1.5[	14	0.04	0.04	0.00	-3.17	0.13	0.08	0.05
2	[1.5 - 2.5[	90	0.26	0.30	0.69	-1.01	0.19	0.95	0.56
3	[2.5 - 3.5[	106	0.31	0.62	1.10	-0.04	0.21	3.41	2.02
4	[3.5 - 4.5[	54	0.16	0.77	1.39	0.40	0.18	6.90	4.09
5	[4.5 - 5.5[	15	0.04	0.82	1.61	0.53	0.13	9.72	5.76
6	[5.5 - 6.5[	13	0.04	0.86	1.79	0.66	0.08	10.49	6.22
7	[6.5 - 7.5[	11	0.03	0.89	1.95	0.79	0.04	9.13	5.41
8	[7.5 - 8.5[	13	0.04	0.93	2.08	0.96	0.02	6.60	3.91
9	[8.5 - 9.5[	13	0.04	0.96	2.20	1.21	0.01	4.05	2.40
10	[9.5 - 10.5[	8	0.02	0.99	2.30	1.49	0.00	2.14	1.27
11	[10.5 - 11.5[	2	0.01	0.99	2.40	1.64	0.00	0.98	0.58
12	[11.5 - 12.5[	2	0.01	1.00	2.48	2.91	0.00	0.40	0.23
		<b>341</b>	<b>1.00</b>				<b>0.99</b>	<b>54.87</b>	<b>32.52</b>

k	1.91
c (m/s)	4.01



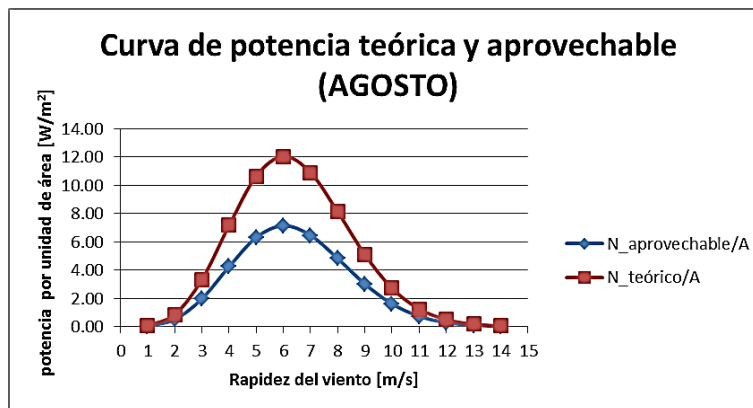
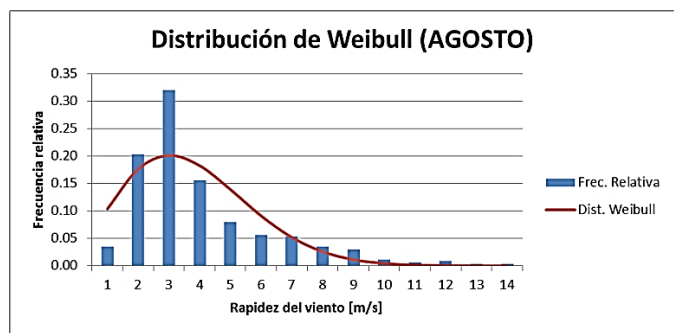
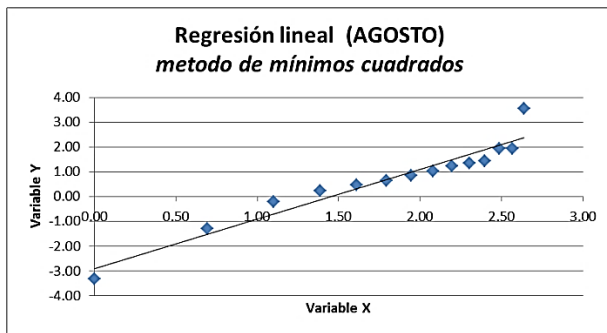


**AGOSTO:**

Tabla 27 – valores distribución de Weibull y potencias para Agosto.

velocidad m/s	intervalo m/s	Frecuencia	Frec. Relativa	Frec. Ac. F(v)	Variable X Ln(v)	Variable Y ln(-ln(1-F(v)))	Dist. Weibull	N teórico/A W/m <sup>2</sup>	N aprovechable/A W/m <sup>2</sup>
1	[0 - 1.5[	12	0.04	0.04	0.00	-3.33	0.10	0.06	0.04
2	[1.5 - 2.5[	69	0.20	0.24	0.69	-1.30	0.18	0.87	0.51
3	[2.5 - 3.5[	109	0.32	0.56	1.10	-0.20	0.20	3.33	1.97
4	[3.5 - 4.5[	53	0.16	0.71	1.39	0.23	0.18	7.17	4.25
5	[4.5 - 5.5[	27	0.08	0.79	1.61	0.46	0.14	10.66	6.32
6	[5.5 - 6.5[	19	0.06	0.85	1.79	0.64	0.09	12.05	7.14
7	[6.5 - 7.5[	18	0.05	0.90	1.95	0.85	0.05	10.90	6.46
8	[7.5 - 8.5[	12	0.04	0.94	2.08	1.02	0.03	8.12	4.81
9	[8.5 - 9.5[	10	0.03	0.97	2.20	1.23	0.01	5.09	3.02
10	[9.5 - 10.5[	4	0.01	0.98	2.30	1.36	0.00	2.71	1.61
11	[10.5 - 11.5[	2	0.01	0.99	2.40	1.44	0.00	1.24	0.74
12	[11.5 - 12.5[	3	0.01	0.99	2.48	1.93	0.00	0.49	0.29
13	[12.5 - 13.5[	1	0.00	1.00	2.56	1.93	0.00	0.17	0.10
14	[13.5 - 14.5[	1	0.00	1.00	2.64	3.54	0.00	0.05	0.03
		<b>340</b>	<b>1.00</b>				<b>0.99</b>	<b>62.92</b>	<b>37.29</b>

k	2.00
c (m/s)	4.26

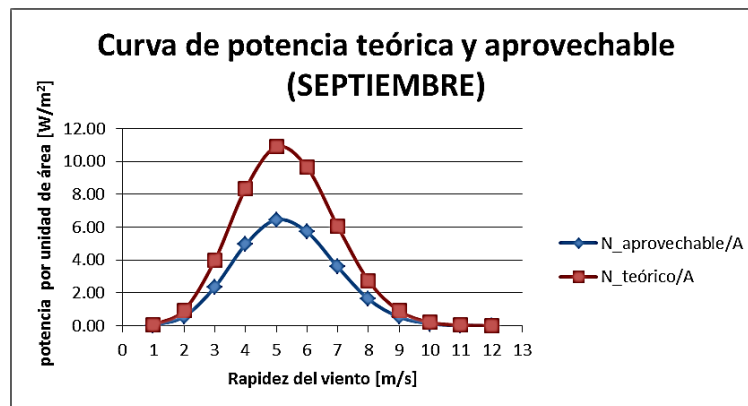
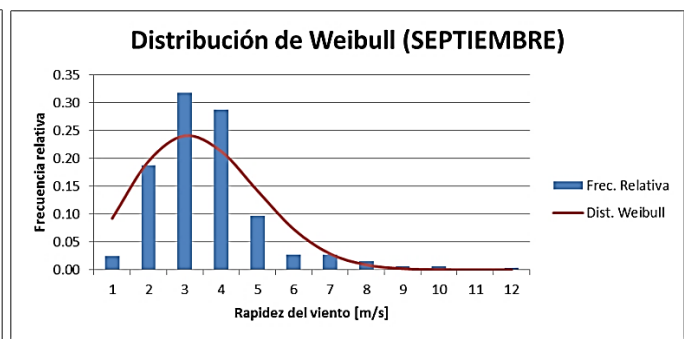
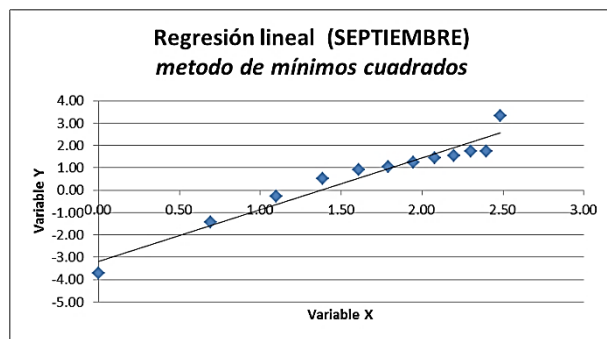


**SEPTIEMBRE:**

Tabla 28 – valores distribución de Weibull y potencias para Septiembre.

velocidad m/s	intervalo m/s	Frecuencia	Frec. Relativa	Frec. Ac. F(v)	Variable X Ln(v)	Variable Y ln(-ln(1-F(v)))	Dist. Weibull	N teórico/A W/m <sup>2</sup>	N aprovechable/A W/m <sup>2</sup>
1	[0 - 1.5[	8	0.02	0.02	0.00	-3.71	0.09	0.06	0.03
2	[1.5 - 2.5[	62	0.19	0.21	0.69	-1.43	0.19	0.96	0.57
3	[2.5 - 3.5[	105	0.32	0.53	1.10	-0.28	0.24	3.98	2.36
4	[3.5 - 4.5[	95	0.29	0.82	1.39	0.53	0.21	8.35	4.95
5	[4.5 - 5.5[	32	0.10	0.92	1.61	0.90	0.14	10.88	6.45
6	[5.5 - 6.5[	9	0.03	0.94	1.79	1.05	0.07	9.64	5.71
7	[6.5 - 7.5[	9	0.03	0.97	1.95	1.25	0.03	6.05	3.58
8	[7.5 - 8.5[	5	0.02	0.98	2.08	1.43	0.01	2.75	1.63
9	[8.5 - 9.5[	2	0.01	0.99	2.20	1.55	0.00	0.91	0.54
10	[9.5 - 10.5[	2	0.01	1.00	2.30	1.76	0.00	0.22	0.13
11	[10.5 - 11.5[	0	0.00	1.00	2.40	1.76	0.00	0.04	0.02
12	[11.5 - 12.5[	1	0.00	1.00	2.48	3.32	0.00	0.01	0.00
		<b>330</b>	<b>1.00</b>				<b>1.00</b>	<b>43.83</b>	<b>25.97</b>

k	2.32
c (m/s)	3.95

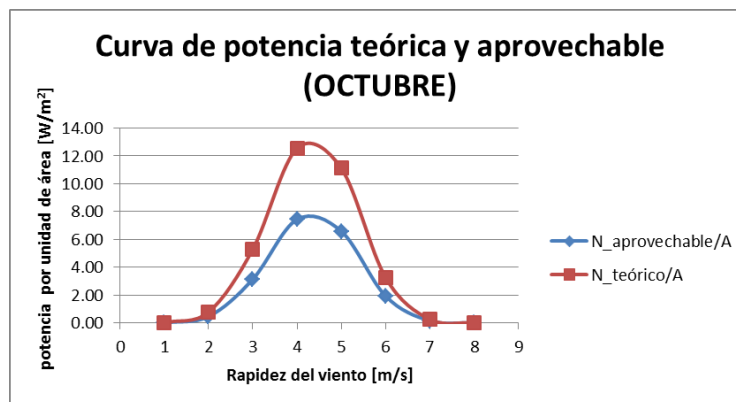
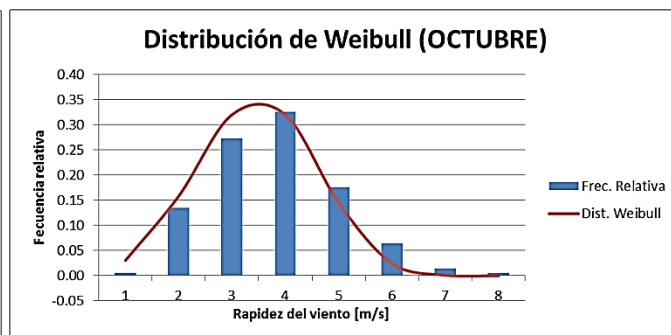
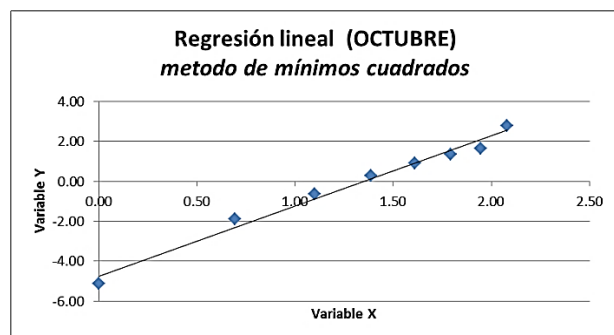


**OCTUBRE:**

Tabla 29 – valores distribución de Weibull y potencias para Octubre.

velocidad m/s	intervalo m/s	Frecuencia	Frec. Relativa	Frec. Ac. F(v)	Variable X Ln(v)	Variable Y ln(-ln(1-F(v)))	Dist. Weibull	N_teorico/A W/m^2	N_aprovechable/A W/m^2
1	[0 - 1.5[	2	0.01	0.01	0.00	-5.14	0.03	0.02	0.01
2	[1.5 - 2.5[	46	0.13	0.14	0.69	-1.89	0.16	0.78	0.46
3	[2.5 - 3.5[	93	0.27	0.41	1.10	-0.63	0.32	5.30	3.14
4	[3.5 - 4.5[	111	0.33	0.74	1.39	0.30	0.32	12.55	7.44
5	[4.5 - 5.5[	60	0.18	0.91	1.61	0.90	0.15	11.11	6.58
6	[5.5 - 6.5[	22	0.06	0.98	1.79	1.36	0.02	3.25	1.93
7	[6.5 - 7.5[	5	0.01	0.99	1.95	1.64	0.00	0.26	0.15
8	[7.5 - 8.5[	2	0.01	1.00	2.08	2.78	0.00	0.00	0.00
		<b>341</b>	<b>1.00</b>				<b>1.00</b>	<b>33.26</b>	<b>19.71</b>

k	3.51
c (m/s)	3.86

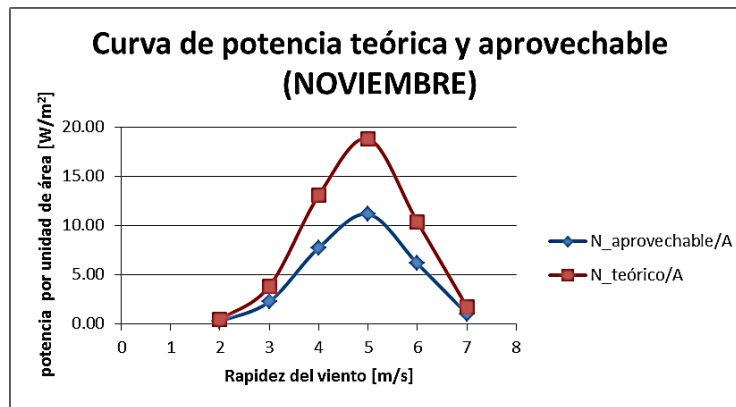
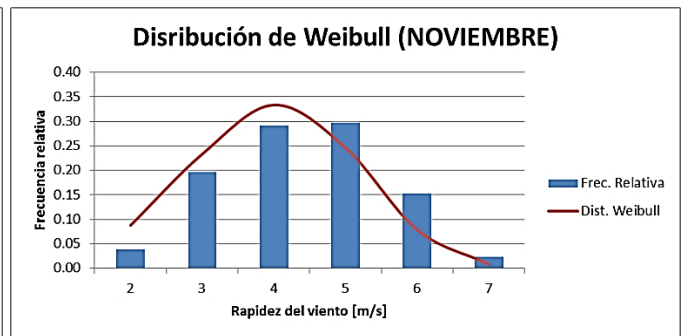
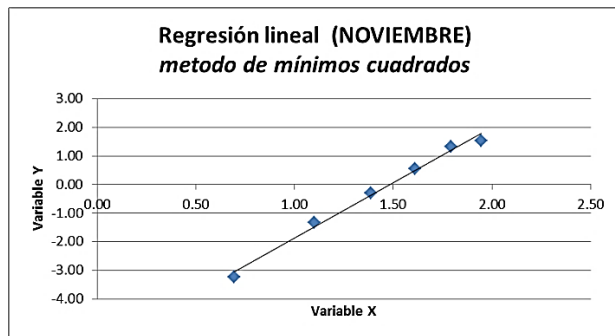


**NOVIEMBRE:**

Tabla 30 – valores distribución de Weibull y potencias para Noviembre.

velocidad m/s	intervalo m/s	Frecuencia	Frec. Relativa	Frec. Ac. F(v)	Variable X Ln(v)	Variable Y ln(-ln(1-F(v)))	Dist. Weibull	N teórico/A W/m <sup>2</sup>	N aprovechable/A W/m <sup>2</sup>
2	[1.5 - 2.5[	12	0.04	0.04	0.69	-3.22	0.09	0.43	0.25
3	[2.5 - 3.5[	60	0.20	0.24	1.10	-1.32	0.23	3.86	2.29
4	[3.5 - 4.5[	89	0.29	0.53	1.39	-0.29	0.33	13.08	7.75
5	[4.5 - 5.5[	91	0.30	0.82	1.61	0.55	0.25	18.83	11.16
6	[5.5 - 6.5[	47	0.15	0.98	1.79	1.33	0.08	10.37	6.15
7	[6.5 - 7.5[	7	0.02	1.00	1.95	1.53	0.01	1.76	1.04
		<b>306</b>	<b>1.00</b>				<b>0.99</b>	<b>48.32</b>	<b>28.64</b>

k	3.85
c (m/s)	4.40

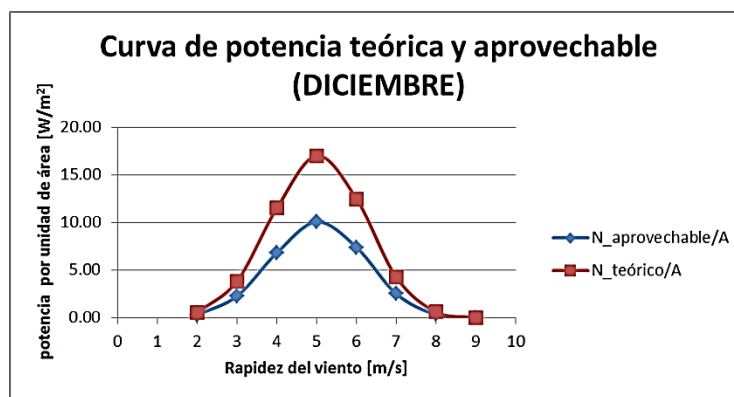
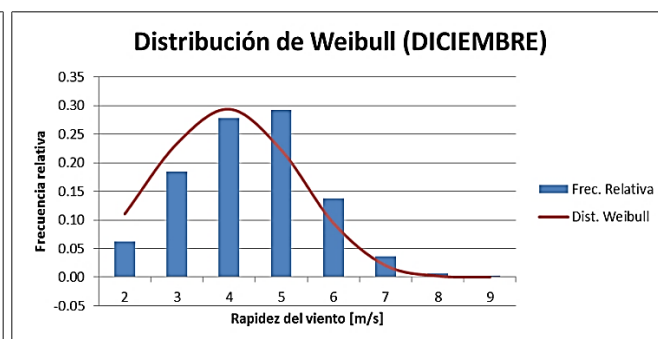
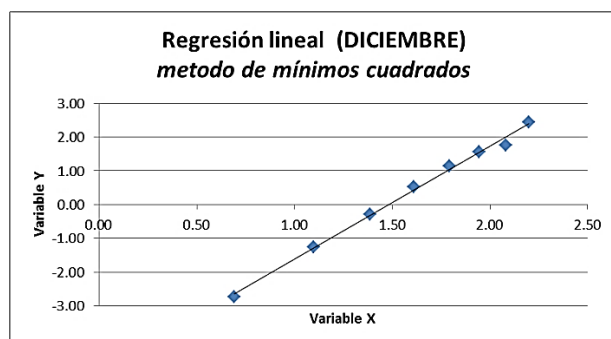


**DICIEMBRE:**

Tabla 31 – valores distribución de Weibull y potencias para Diciembre.

velocidad m/s	intervalo m/s	Frecuencia	Frec. Relativa	Frec. Ac. F(v)	Variable X Ln(v)	Variable Y ln(-ln(1-F(v)))	Dist. Weibull	N_teorico/A W/m <sup>2</sup>	N_aprovechable/A W/m <sup>2</sup>
2	[1.5 - 2.5[	21	0.06	0.06	0.69	-2.74	0.11	0.54	0.32
3	[2.5 - 3.5[	62	0.19	0.25	1.10	-1.26	0.23	3.86	2.29
4	[3.5 - 4.5[	93	0.28	0.53	1.39	-0.29	0.29	11.51	6.82
5	[4.5 - 5.5[	98	0.29	0.82	1.61	0.53	0.22	17.01	10.08
6	[5.5 - 6.5[	46	0.14	0.96	1.79	1.13	0.09	12.50	7.41
7	[6.5 - 7.5[	12	0.04	0.99	1.95	1.55	0.02	4.27	2.53
8	[7.5 - 8.5[	2	0.01	1.00	2.08	1.76	0.00	0.61	0.36
9	[8.5 - 9.5[	1	0.00	1.00	2.20	2.44	0.00	0.03	0.02
		<b>335</b>	<b>1.00</b>				<b>0.98</b>	<b>50.35</b>	<b>29.83</b>

k	3.35
c (m/s)	4.41



A continuación se presenta el potencial eólico aprovechable para cada mes:

Tabla 32 – Potencial eólico aprovechable para cada mes.

N_aprovechable [W/m <sup>2</sup> ]	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	28.69	23.74	16.63	19.53	31.87	29.34	32.52	37.29	25.97	19.71	28.64	29.83

### 7.3 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

El análisis del consumo energético se realizará considerando una sola luminaria autónoma, y se replicará en las siguientes.

El ANEXO 5 presenta el modelo de luminaria led que se utilizará en el proyecto. La potencia de la luminaria escogida es de 236 [W].

Se considerará un tiempo de funcionamiento de 11 horas diarias para los meses de Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre. Mientras que para los meses de Octubre, Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo se considerará un funcionamiento de 10 horas diarias.

Por lo tanto, multiplicando la potencia de la luminaria por las horas de funcionamiento, se obtiene el consumo de energía al día para cada mes.

A estos consumos diarios se le aplicaron dos factores de seguridad. El primero corresponde al 10% del consumo total calculado. El segundo corresponde a un factor de seguridad  $K_T$ , el cual se obtiene con la formula siguiente:

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] * [1 - \frac{(K_A * D_{aut})}{P_d}] \quad (29)$$

Dónde:

$K_A$  = Coeficiente por la auto-descarga diaria de la batería a 20°C

$K_A$  = 0.002 para baterías de NiCd p de PbCa sin mantenimiento.

$K_A$  = 0.005 para las baterías estacionarias de plomo-ácido.

$K_A$  = 0.012 para cualquier otro tipo o muy deteriorada por el uso.

$K'_A = (0.0014 * t^2 + 0.0021 * t + 0.4) * k_A$  ; para temperaturas extremas.

$K_B$  = 0.05 a 0.1 para acumuladores viejos, descargas intensas, o bajas temperaturas.

$K_C$  = Contempla el rendimiento del convertidor CC-CA que varía entre 75% a 95%. A falta de datos se asumirá un valor entre 0.05 a 0.25, y 0 si no hay convertidor.

$K_R$  = Contempla el rendimiento del regulador con valores comprendidos entre 0.1 a 0.01, o rendimientos entre 90% al 99%, si no se desea valorar, considerar 0.

$K_X$  = Contempla cualquier otro tipo de pérdida no consideradas, tomando el valor de 0.15 cuando se conocen las potencias teóricas y 0.1 en general.

$D_{aut}$  = Días de autonomía con baterías.

$P_D$  = Profundidad de descarga (en fracción).

Por lo tanto, utilizando la ecuación (29) se tiene:

$$K_T = [1 - (0.05 + 0.05 + 0.05 + 0.05)] * [1 - \frac{(0.005 * 2)}{0.8}]$$

$$K_T = 0.79$$

Dónde:

$K_A = 0.005$  para batería estacionaria plomo-ácido.

$K_B = 0.05$  sin descargas intensas.

$K_C = 0.05$  con inversor.

$K_R = 0.05$  rendimiento de regulador.

$K_X = 0.05$  otro tipo de pérdidas.

$D_{aut} = 2$  días.

$P_D = 0.8$  profundidad de descarga.

Finalmente el consumo de energía diaria para cada mes, considerando los factores de seguridad +10% y  $K_T$  se expresan en la siguiente tabla:

Tabla 33 – Demanda energética para cada mes.

Iluminación Led SCHREDER AKILA LENSOFLEX°2	Días del mes [días/mes]	n° equipos	Potencia [W]	Horas operación [hr/día]	Consumo energía al día [Wh/día]	Con factor de Seguridad +10% [Wh/día]	Factor de Seguridad Kt	Con factor de seguridad Kt [Wh/día]
Enero	31	1	236	10	2360.0	2596.0	0.79	3286.1
Febrero	28	1	236	10	2360.0	2596.0	0.79	3286.1
Marzo	31	1	236	10	2360.0	2596.0	0.79	3286.1
Abril	30	1	236	11	2596.0	2855.6	0.79	3614.7
Mayo	31	1	236	11	2596.0	2855.6	0.79	3614.7
Junio	30	1	236	11	2596.0	2855.6	0.79	3614.7
Julio	31	1	236	11	2596.0	2855.6	0.79	3614.7
Agosto	31	1	236	11	2596.0	2855.6	0.79	3614.7
Septiembre	30	1	236	11	2596.0	2855.6	0.79	3614.7
Octubre	31	1	236	10	2360.0	2596.0	0.79	3286.1
Noviembre	30	1	236	10	2360.0	2596.0	0.79	3286.1
Diciembre	31	1	236	10	2360.0	2596.0	0.79	3286.1

Fuente: Elaboración propia (2016)

## 7.4 COBERTURA DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

El análisis técnico para satisfacer el consumo energético que demanda la luminaria led, fué realizado utilizando dos módulos fotovoltaicos de 315 [W] y un miniaerogenerador de 600 [W], cuyos catálogos se encuentran disponibles en el ANEXO 6 y ANEXO 7 respectivamente.

Tabla 34 – Características de módulo fotovoltaico y aerogenerador escogidos.

Panel FV=	Solartec	
Modelo =	S72MC 315W	
Vmp=	37.5	[Volt]
Imp=	8.41	[A]
Voc=	45.9	[Volt]
Isc=	8.95	[A]
Volt. Circuito=	24	[Volt]
Pot. MFV=	315	[W]
N° paneles	2	
Sup. Panel	1.94	[m2]
Sup. total	3.88	[m2]
Pot. instalada	630	[W]

Rotor eolico=	ENERTIK	
Modelo =	GE-600-24	
V=	24	[Volt]
I=	25	[A]
Área barrido =	2.3	[m2]
Potencia rotor=	600	[W]

Fuente: Catálogos ANEXO6 Y ANEXO7 (2016).

### 7.4.1 Sistema fotovoltaico

Se aprecia de la Tabla 19 que los máximos valores anuales de radiación se encuentran para un Azimut de 180° al norte; esto es, con el panel fotovoltaico direccionado directamente al norte. Esto debido a que el lugar de estudio se encuentra en el hemisferio sur.

Con un panel fotovoltaico direccionado al norte, se aprecia que existen distintos valores de radiación si se varía la inclinación. Esto es debido a las variaciones estacionales, ocasionando que el ángulo de altura solar varíe en verano y en invierno. En verano, los paneles solares deberían ser colocados en posición ligeramente más horizontal para aprovechar al máximo la luz solar; mientras que en invierno deberían ser colocados en posición ligeramente más vertical.

Como el sistema propuesto carece de un mecanismo de seguimiento continuo que modifique la posición de los paneles, se deberá priorizar la máxima captación en invierno, ya que esta estación presenta menor radiación solar. Por lo tanto, los paneles fotovoltaicos de las luminarias serán direccionados directamente al norte, con una inclinación de 36°. A continuación se presentan los datos de radiación media del día para cada mes, con la inclinación del panel de 36°.



Tabla 35 – Datos de radiación con Azimut 180° hacia el Norte y 36° de inclinación, para Concepción.

mes	Angulo inclinación panel <i>beta</i>	Dias del mes <i>dias_mes</i>	Latitud <i>L</i>	Meridiano local <i>M_loc</i>	Radiación sup. horizontal media día, para el mes <i>R_sh_dia</i>	Radiación sup. inclinada media día, para el mes <i>R_si_dia</i>	Radiación sup. inclinada media total mes <i>R_si_mes</i>
	[°]	[días]	[°]	[°]	[kWh/m <sup>2</sup> ·día]	[kWh/m <sup>2</sup> ·día]	[kWh/m <sup>2</sup> ·mes]
Enero	-36	31	-36.5	-73.02	6.78	6.15	190.80
Febrero	-36	28	-36.5	-73.02	5.84	5.75	161.00
Marzo	-36	31	-36.5	-73.02	4.57	5.07	157.20
Abril	-36	30	-36.5	-73.02	3.11	4.03	121.00
Mayo	-36	31	-36.5	-73.02	1.91	2.82	87.50
Junio	-36	30	-36.5	-73.02	1.31	2.06	61.70
Julio	-36	31	-36.5	-73.02	1.68	2.60	80.70
Agosto	-36	31	-36.5	-73.02	2.62	3.60	111.60
Septiembre	-36	30	-36.5	-73.02	3.77	4.42	132.50
Octubre	-36	31	-36.5	-73.02	5.07	5.17	160.40
Noviembre	-36	30	-36.5	-73.02	6.33	5.87	176.10
Diciembre	-36	31	-36.5	-73.02	6.58	5.88	182.30
					<b>4.13</b>	<b>4.45</b>	<b>1622.80</b>

Fuente: Anuario Solarimétrico, modificado de EES (2014).

Para determinar la energía producida por el panel fotovoltaico, se calculó primeramente las horas solar equivalentes (Hse) para cada mes. Esto se realiza dividiendo la radiación superficial inclinada media diaria de cada mes por  $1 \left[ \frac{kW}{m^2} \right]$ . Las Hse quedan en  $\left[ \frac{horas}{día} \right]$ .

Así la energía producida por un panel fotovoltaico en un día se calcula multiplicando su potencia por las horas solar equivalentes (Hse), y la energía producida por la instalación fotovoltaica en un día será la energía del panel multiplicado por la cantidad de paneles que contempla la instalación, en este caso 2. Para calcular la energía producida por la instalación en cada mes, se multiplica la energía diaria de cada mes por la cantidad de días que tenga el mes respectivo, como se aprecia en la Tabla 36.

Tabla 36 – Energía producida por instalación fotovoltaica para cada mes.

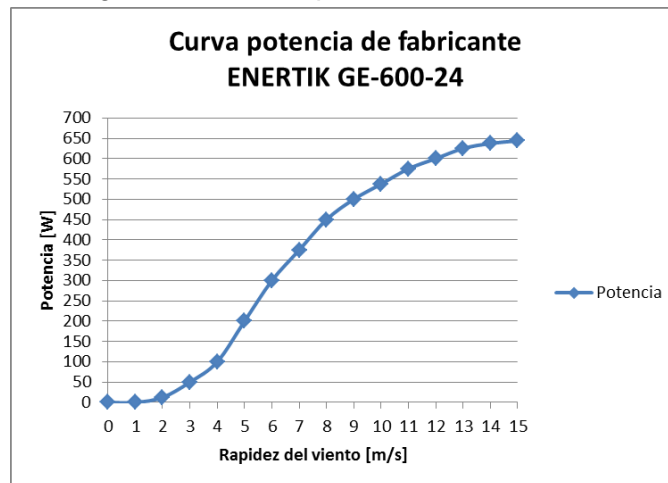
	Días del mes	Radiación superficial inclinada	Hse	E. producida por panel Fotovoltaico	E. producida por instalación Fotovoltaica	E. producida por instalación Fotovoltaica
	[días/mes]	[kWh/m2 día]	[horas/día]	[Wh/día]	[Wh/día]	[kWh/mes]
<b>Enero</b>	31	6.15	6.15	1937.3	3874.5	120.1
<b>Febrero</b>	28	5.75	5.75	1811.3	3622.5	101.4
<b>Marzo</b>	31	5.07	5.07	1597.1	3194.1	99.0
<b>Abril</b>	30	4.03	4.03	1269.5	2538.9	76.2
<b>Mayo</b>	31	2.82	2.82	888.3	1776.6	55.1
<b>Junio</b>	30	2.06	2.06	648.9	1297.8	38.9
<b>Julio</b>	31	2.60	2.60	819.0	1638.0	50.8
<b>Agosto</b>	31	3.60	3.60	1134.0	2268.0	70.3
<b>Septiembre</b>	30	4.42	4.42	1392.3	2784.6	83.5
<b>Octubre</b>	31	5.17	5.17	1628.6	3257.1	101.0
<b>Noviembre</b>	30	5.87	5.87	1849.1	3698.1	110.9
<b>Diciembre</b>	31	5.88	5.88	1852.2	3704.4	114.8

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 7.4.2 Sistema eólico

Para determinar la energía producida por el mini-aerogenerador, primeramente se debe trabajar con la curva de potencia del aerogenerador escogido, proporcionado por el fabricante. Esta curva de potencia está disponible en el ANEXO 7, y se muestra a continuación:

Figura 79 – Curva potencia del fabricante.



Fuente: catálogo de fabricante. Anexo 7.

La potencia entregada por el fabricante es multiplicada por la probabilidad de ocurrencia de las distintas rapideces de viento según la distribución de Weibull. Con esto se obtiene la potencia neta producida por el rotor para cada mes. Los resultados se ilustran en la Tabla 37.

Tabla 37 – Potencia generada por el aerogenerador para cada mes.

ENERTIK 600W		Enero		Febrero		Marzo		Abril	
Rapidez de viento	Potencia del fabricante	Dist. Weibull de Enero	Pot. producida por rotor	Dist. Weibull de Febrero	Pot. producida por rotor	Dist. Weibull de Marzo	Pot. producida por rotor	Dist. Weibull de Abril	Pot. producida por rotor
[m/s]	[W]		[W]		[W]		[W]		[W]
0	0	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
1	0	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0190	0.00	0.1266	0.00
2	12.5	0.0933	1.17	0.1405	1.76	0.1530	1.91	0.2352	2.94
3	50	0.2353	11.76	0.2781	13.91	0.3828	19.14	0.2553	12.77
4	100	0.3257	32.57	0.3063	30.63	0.3556	35.56	0.1957	19.57
5	200	0.2398	47.97	0.1838	36.76	0.0867	17.33	0.1114	22.29
6	300	0.0809	24.27	0.0542	16.26	0.0030	0.91	0.0480	14.41
7	375	0.0101	3.78	0.0068	2.56	0.0000	0.00	0.0158	5.91
8	450	0.0004	0.16	0.0003	0.14	0.0000	0.00	0.0039	1.77
9	500	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0007	0.37
10	537.5	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0001	0.06
11	575	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.01
12	600	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
13	625	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
14	637.5	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
15	643.8	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
			<b>121.69</b>		<b>102.01</b>		<b>74.86</b>		<b>80.09</b>

ENERTIK 600W		Mayo		Junio		Julio		Agosto	
Rapidez de viento	Potencia del fabricante	Dist. Weibull de Mayo	Pot. producida por rotor	Dist. Weibull de Junio	Pot. producida por rotor	Dist. Weibull de Julio	Pot. producida por rotor	Dist. Weibull de Agosto	Pot. producida por rotor
[m/s]	[W]		[W]		[W]		[W]		[W]
0	0	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
1	0	0.1805	0.00	0.1396	0.00	0.1251	0.00	0.1039	0.00
2	12.5	0.2081	2.60	0.2057	2.57	0.1941	2.43	0.1766	2.21
3	50	0.1856	9.28	0.2092	10.46	0.2063	10.32	0.2014	10.07
4	100	0.1435	14.35	0.1714	17.14	0.1761	17.61	0.1828	18.28
5	200	0.1000	19.99	0.1189	23.79	0.1270	25.40	0.1392	27.84
6	300	0.0640	19.21	0.0716	21.48	0.0793	23.80	0.0911	27.33
7	375	0.0382	14.31	0.0379	14.21	0.0435	16.30	0.0519	19.45
8	450	0.0213	9.59	0.0178	8.01	0.0211	9.48	0.0259	11.66
9	500	0.0112	5.62	0.0075	3.73	0.0091	4.54	0.0114	5.70
10	537.5	0.0056	3.01	0.0028	1.50	0.0035	1.88	0.0044	2.38
11	575	0.0027	1.53	0.0009	0.54	0.0012	0.69	0.0015	0.88
12	600	0.0012	0.72	0.0003	0.17	0.0004	0.22	0.0005	0.28
13	625	0.0005	0.32	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0001	0.08
14	637.5	0.0002	0.14	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.02
15	643.8	0.0001	0.05	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
			<b>100.73</b>		<b>103.60</b>		<b>112.66</b>		<b>126.18</b>

<b>ENERTIK 600W</b>		<b>Septiembre</b>		<b>Octubre</b>		<b>Noviembre</b>		<b>Diciembre</b>	
<b>Rapidez de viento</b>	<b>Potencia del fabricante</b>	<b>Dist. Weibull de Septiembre</b>	<b>Pot. producida por rotor</b>	<b>Dist. Weibull de Octubre</b>	<b>Pot. producida por rotor</b>	<b>Dist. Weibull de Noviembre</b>	<b>Pot. producida por rotor</b>	<b>Dist. Weibull de Diciembre</b>	<b>Pot. producida por rotor</b>
<i>[m/s]</i>	<i>[W]</i>		<i>[W]</i>		<i>[W]</i>		<i>[W]</i>		<i>[W]</i>
0	0	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
1	0	0.0924	0.00	0.0304	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
2	12.5	0.1950	2.44	0.1584	1.98	0.0878	1.10	0.1107	1.38
3	50	0.2407	12.04	0.3203	16.02	0.2332	11.66	0.2336	11.68
4	100	0.2129	21.29	0.3202	32.02	0.3336	33.36	0.2937	29.37
5	200	0.1421	28.42	0.1451	29.01	0.2459	49.18	0.2222	44.44
6	300	0.0728	21.85	0.0246	7.38	0.0784	23.51	0.0945	28.34
7	375	0.0288	10.79	0.0012	0.46	0.0084	3.15	0.0203	7.62
8	450	0.0088	3.94	0.0000	0.01	0.0000	0.00	0.0020	0.88
9	500	0.0020	1.02	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0001	0.04
10	537.5	0.0004	0.20	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
11	575	0.0000	0.03	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
12	600	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
13	625	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
14	637.5	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
15	643.8	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
			<b>102.02</b>		<b>86.87</b>		<b>121.95</b>		<b>123.75</b>

Fuente: Elaboración propia (2016).

Ya teniendo la potencia producida por el mini-aerogenerador para cada mes, se puede obtener finalmente la energía diaria y la energía mensual producida por éste. Para ello se considera un funcionamiento del rotor constante las 24 horas.

Tabla 38 – Energía producida por el aerogenerador para cada mes.

<b>Enertik 600W</b>	<b>Días del mes</b>	<b>Pot. producida por rotor</b>	<b>E. producida por rotor</b>	<b>E. producida por rotor</b>
<i>mes</i>	<i>[días/mes]</i>	<i>[W]</i>	<i>[kWh/día]</i>	<i>[kWh/mes]</i>
<b>Enero</b>	31	121.69	2.92	90.53
<b>Febrero</b>	28	102.01	2.45	68.55
<b>Marzo</b>	31	74.86	1.80	55.70
<b>Abril</b>	30	80.09	1.92	57.66
<b>Mayo</b>	31	100.73	2.42	74.94
<b>Junio</b>	30	103.60	2.49	74.59
<b>Julio</b>	31	112.66	2.70	83.82
<b>Agosto</b>	31	126.18	3.03	93.87
<b>Septiembre</b>	30	102.02	2.45	73.46
<b>Octubre</b>	31	86.87	2.08	64.63
<b>Noviembre</b>	30	121.95	2.93	87.81
<b>Diciembre</b>	31	123.75	2.97	92.07

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 7.4.3 Sistema híbrido

Finalmente se presenta un resumen de las producciones energéticas calculadas, junto al consumo energético para el día y para el mes.

Tabla 39 – Energía producida por instalación híbrida para cada mes.

	Días del mes	+10% y Kt Demanda energía	+10% y Kt Demanda energía	E. producida por instalación Fotovoltaica	E. producida por instalación Fotovoltaica	E. producida por rotor	E. producida por rotor	E. producida por inst. FV + rotor	E. producida por inst. FV + rotor
	[días/mes]	[Wh/día]	[kWh/mes]	[Wh/día]	[kWh/mes]	[Wh/día]	[kWh/mes]	[Wh/día]	[kWh/mes]
<b>Enero</b>	31	3286.1	101.9	3874.5	120.1	2920.5	90.53	6794.98	210.6
<b>Febrero</b>	28	3286.1	92.0	3622.5	101.4	2448.2	68.55	6070.75	170.0
<b>Marzo</b>	31	3286.1	101.9	3194.1	99.0	1796.7	55.70	4990.81	154.7
<b>Abril</b>	30	3614.7	108.4	2538.9	76.2	1922.2	57.66	4461.06	133.8
<b>Mayo</b>	31	3614.7	112.1	1776.6	55.1	2417.4	74.94	4194.04	130.0
<b>Junio</b>	30	3614.7	108.4	1297.8	38.9	2486.4	74.59	3784.17	113.5
<b>Julio</b>	31	3614.7	112.1	1638.0	50.8	2703.9	83.82	4341.86	134.6
<b>Agosto</b>	31	3614.7	112.1	2268.0	70.3	3028.2	93.87	5296.22	164.2
<b>Septiembre</b>	30	3614.7	108.4	2784.6	83.5	2448.6	73.46	5233.17	157.0
<b>Octubre</b>	31	3286.1	101.9	3257.1	101.0	2084.8	64.63	5341.94	165.6
<b>Noviembre</b>	30	3286.1	98.6	3698.1	110.9	2926.9	87.81	6625.00	198.7
<b>Diciembre</b>	31	3286.1	101.9	3704.4	114.8	2970.1	92.07	6674.49	206.9

Fuente: Elaboración propia (2016).

Se aprecia de la Tabla 39 que trabajando de forma conjunta; el sistema fotovoltaico y el sistema eólico, con las dimensiones escogidas logran satisfacer la demanda energética de un alumbrado en todos los meses del año.

La Tabla 40 muestra el factor de servicio para cada mes, y se aprecia que no existen meses en que se produzca deficiencia energética. La demanda se cubre en totalidad, incluso en Junio, que es el mes más crítico.

Tabla 40 – Factor de servicio para cada mes.

	Factor servicio	Demanda no cubierta
	[%]	[kWh/mes]
<b>Enero</b>	206.8%	-108.8
<b>Febrero</b>	184.7%	-78.0
<b>Marzo</b>	151.9%	-52.8
<b>Abril</b>	123.4%	-25.4
<b>Mayo</b>	116.0%	-18.0
<b>Junio</b>	104.7%	-5.1
<b>Julio</b>	120.1%	-22.5
<b>Agosto</b>	146.5%	-52.1
<b>Septiembre</b>	144.8%	-48.6
<b>Octubre</b>	162.6%	-63.7
<b>Noviembre</b>	201.6%	-100.2
<b>Diciembre</b>	203.1%	-105.0

Fuente: Elaboración propia (2016).

La Tabla 41 presenta la potencia instalada capaz de generar en cada alumbrado y su producción teórica de energía si trabajara con su máxima potencia. Además se presenta el factor de operación que realmente ocupa el sistema, ya que no opera a su máxima potencia.

Tabla 41 – Factor de operación para cada mes.

	Potencia instalada	Producción teórica mes	Factor operación
	[W]	[kWh/mes]	[%]
Enero	1230	915.1	23.0%
Febrero	1230	826.6	20.6%
Marzo	1230	915.1	16.9%
Abril	1230	885.6	15.1%
Mayo	1230	915.1	14.2%
Junio	1230	885.6	12.8%
Julio	1230	915.1	14.7%
Agosto	1230	915.1	17.9%
Septiembre	1230	885.6	17.7%
Octubre	1230	915.1	18.1%
Noviembre	1230	885.6	22.4%
Diciembre	1230	915.1	22.6%

Fuente: Elaboración propia (2016).

## 7.5 CÁLCULO DE BATERÍAS

La cantidad y el tipo de baterías que se requieren para asegurar el funcionamiento continuo de un alumbrado se obtiene con la ecuación (2) para determinar la capacidad de las baterías. Con una demanda energética diaria máxima de 3614.68 [ $Wh/día$ ], 2 días de autonomía, una profundidad de descarga de 80% y una tensión del sistema generador de energía de 24[V], se tiene:

$$CAP_{batería} = \frac{3614.68 * 2}{0.8 * 24}$$

$$CAP_{Batería} = 376.53 [Ah]$$

La batería escogida se encuentra en el ANEXO 8, se trata de una batería plomo-ácido marca SolarMotion, modelo Monoblock SM190, de 190[Ah] y 12[V].

Como el sistema generador posee 24[V], se requiere de 4 baterías del modelo escogido, las cuales se deben conectar en serie-paralelo. La combinación de la conexión en paralelo con la conexión en serie dará una duplicación de la tensión nominal y de la capacidad, quedando finalmente en 24[V] y 380[Ah].

## 7.6 CÁLCULO DE CONTROLADOR DE CARGA

El controlador o regulador de corriente escogido se encuentra en el ANEXO 9. La principal característica que presenta este dispositivo es que admite el uso de las dos fuentes energéticas utilizadas, siendo de carácter híbrido. El modelo trabaja con 24 [V], admite una potencia de rotor de hasta 800[W] y una potencia nominal de módulo fotovoltaico de hasta 400[W].

Como el aerogenerador posee una potencia de 600[W] y trabaja a 24 [V], su corriente nominal será:

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{600 [VA]}{24[V]}$$

$$I_{rotor} = 25[A]$$

El módulo fotovoltaico posee una corriente de corto circuito de 8.95 [A], pero al ser dos módulos y estar conectados en paralelo su intensidad será:  $I_{sist.FV} = 17.9 [A]$

El regulador escogido deberá trabajar bajo estos parámetros.

## 7.7 CÁLCULO DE INVERSOR

Se requiere de un inversor off-grid que eleve la tensión de 24[V] a 230[V] requerido por la luminaria. Y que soporte una potencia no menor a 236[W] requerida.

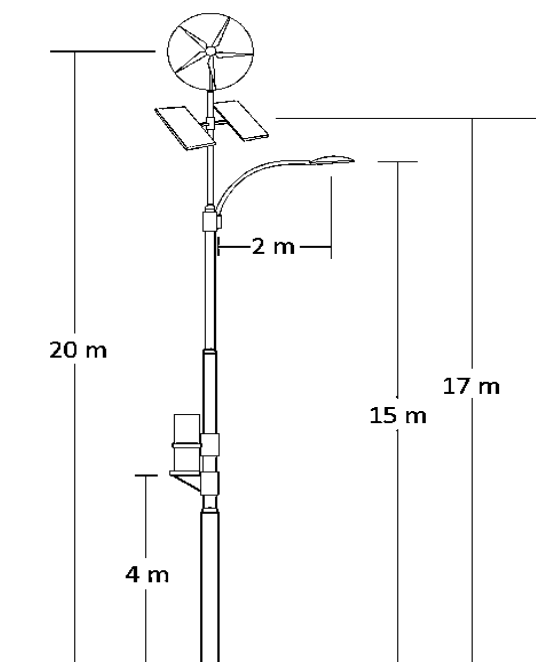
El inversor escogido que satisface los requerimientos anteriores se encuentra en el ANEXO 10.

## 7.8 CÁLCULO DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS

El cableado se calcula para soportar los requerimientos de corriente y de voltaje de las cargas, para no afectar el funcionamiento de éstas. Considerando la Norma Chilena NCh2896.Of2004 y utilizando la ecuación (3), se procede a estimar las secciones de los cables conductores entre los componentes del sistema. Posteriormente se consulta el ANEXO11 para determinar un conductor normalizado AWG.

Las longitudes de los conductores eléctricos se consideran a partir de las alturas de diseño presentes en la figura 80.

Figura 80 – Esquema de alturas del diseño.



Fuente: Elaboración propia (2016)

- Entre módulo fotovoltaico y controlador

Se tiene:

$$\Delta V = 3\%$$

$$I_{sc} = 8.95 * 2 = 17.9 [A]$$

$$K_{90^{\circ}C} = 45.49 \left[ \frac{m}{\Omega mm^2} \right]$$

$$L = 13 [m]$$

$$S = \frac{2 * 13 * 17.9}{45.49 * (0.03 * 24)}$$

$$S = 14.2 [mm^2]$$

Cable normalizado: Conductor eléctrico AWG N°5 de sección 16.8mm<sup>2</sup>.

- Entre rotor eólico y controlador

Se tiene:

$$\Delta V = 3\%$$

$$I_{sc} = 25 [A]$$

$$K_{90^{\circ}C} = 45.49 \left[ \frac{m}{\Omega mm^2} \right]$$

$$L = 16 [m]$$

$$S = \frac{2 * 16 * 25}{45.49 * (0.03 * 24)}$$

$$S = 24.43 [mm^2]$$

Cable normalizado: Conductor eléctrico AWG N°3 de sección 26.7mm<sup>2</sup>.



- Entre controlador y baterías

Se tiene:

$$\Delta V = 1\%$$

$$I_{sc} = 50 [A]$$

$$K_{90^{\circ}C} = 45.49 \left[ \frac{m}{\Omega mm^2} \right]$$

$$L = 1 [m]$$

$$S = \frac{2 * 1 * 50}{45.49 * (0.01 * 24)}$$

$$S = 9.16 [mm^2]$$

Cable normalizado: Conductor eléctrico AWG N°7 de sección 10.5mm<sup>2</sup>.

- Entre controlador e inversor

Se tiene:

$$\Delta V = 1\%$$

$$I_{sc} = 50 [A]$$

$$K_{90^{\circ}C} = 45.49 \left[ \frac{m}{\Omega mm^2} \right]$$

$$L = 1 [m]$$

$$S = \frac{2 * 1 * 50}{45.49 * (0.01 * 24)}$$

$$S = 9.16 [mm^2]$$

Cable normalizado: Conductor eléctrico AWG N°7 de sección 10.5mm<sup>2</sup>.

- Entre inversor y luminaria led

Se tiene:

$$\Delta V = 3\%$$

$$I_{sc} = \frac{W}{V} = \frac{236 [VA]}{230 [V]} = 1.03 [A]$$

$$K_{90^{\circ}C} = 45.49 \left[ \frac{m}{\Omega mm^2} \right]$$

$$L = 13 [m]$$

$$S = \frac{2 * 13 * 1.03}{45.49 * (0.03 * 230)}$$

$$S = 0.085 [mm^2]$$

Cable normalizado: Conductor eléctrico AWG N°27 de sección 0.102mm<sup>2</sup>.

## Capítulo 8: ANALISIS ECONÓMICO

### 8.1 COSTOS

Como los elementos y dispositivos seleccionados se encuentran en monedas internacionales, se realiza una conversión a moneda nacional.

Tabla 42 – Conversión de monedas internacionales a moneda nacional.

<b>VALOR DÓLAR</b>	[ \$/US\$]	673.85	Fecha:	17/12/2016
<b>VALOR EURO</b>	[ \$/€]	704.27	Fecha:	17/12/2016
<b>VALOR PESO ARG.</b>	[ \$/\$Arg.]	42.46	Fecha:	17/12/2016
<b>VALOR PESO MEX.</b>	[ \$/\$Mex.]	32.97	Fecha:	17/12/2016

Fuente: Elaboración propia (2016)

(<https://goo.gl/TMLK4W>)

A continuación se presentan los costos estimados de los dispositivos y elementos utilizados en la luminaria diseñada:

Tablas 43 – Costos de los elementos y dispositivos.

<b>ELEMENTO</b>	Luminaria led
<b>MARCA</b>	Schreder
<b>MODELO</b>	AKILA 144LED 236W
<b>VALOR [€]</b>	1,269.30
<b>VALOR [\$]</b>	893,930
<b>FECHA</b>	14/11/2016
<b>FUENTE</b>	<a href="https://goo.gl/sgf3GJ">https://goo.gl/sgf3GJ</a>

<b>ELEMENTO</b>	Módulo fotovoltaico
<b>MARCA</b>	Solartec
<b>MODELO</b>	S72MC 315W
<b>VALOR [US\$]</b>	189.00
<b>VALOR [\$]</b>	127,358
<b>FECHA</b>	28/12/2016
<b>FUENTE</b>	<a href="https://goo.gl/TDujTA">https://goo.gl/TDujTA</a>

<b>ELEMENTO</b>	Rotor eólico
<b>MARCA</b>	Enertik
<b>MODELO</b>	GE-600-24
<b>VALOR [US\$]</b>	1,792.53
<b>VALOR [\$]</b>	1,207,896
<b>FECHA</b>	04/10/2016
<b>FUENTE</b>	<a href="https://goo.gl/QHGR9j">https://goo.gl/QHGR9j</a>

<b>ELEMENTO</b>	Batería
<b>MARCA</b>	Solarmotion
<b>MODELO</b>	Monoblock SM 190
<b>VALOR [€]</b>	191.18
<b>VALOR [\$]</b>	134,642
<b>FECHA</b>	31/10/2016
<b>FUENTE</b>	<a href="https://goo.gl/yAY1Vg">https://goo.gl/yAY1Vg</a>

<b>ELEMENTO</b>	Inversor
<b>MARCA</b>	Inversor HQ
<b>MODELO</b>	HQ 300W (24V)
<b>VALOR [€]</b>	89.00
<b>VALOR [\$]</b>	62,680
<b>FECHA</b>	28/12/2016
<b>FUENTE</b>	<a href="https://goo.gl/nQ6uUt">https://goo.gl/nQ6uUt</a>

<b>ELEMENTO</b>	Controlador
<b>MARCA</b>	WindSolar
<b>MODELO</b>	QW-800JN
<b>VALOR [€]</b>	88.85
<b>VALOR [\$]</b>	62,574
<b>FECHA</b>	28/12/2016
<b>FUENTE</b>	<a href="https://goo.gl/uCQbhv">https://goo.gl/uCQbhv</a>

<b>ELEMENTO</b>	Conductor eléctrico (1m)			
<b>MARCA</b>	Kobrex			
<b>MODELO</b>	AWG N°3	AWG N°5	AWG N°7	AWG N°27
<b>VALOR [\$mex]</b>	56.47	36.03	23.01	18.79
<b>VALOR [\$]</b>	1,862	1,188	759	620
<b>FECHA</b>	01/11/2010			
<b>FUENTE</b>	<a href="https://goo.gl/2btRPv">https://goo.gl/2btRPv</a>			

Todo lo relacionado a la estructura metálica será considerado como un 25% adicional de los costos totales.

## 8.2 INVERSIÓN INICIAL

La inversión inicial corresponde al mayor costo que se realiza en toda la instalación, ya que se debe costear la totalidad de los equipos que se utilizan. La tabla 44 detalla los equipos y dispositivos utilizados por alumbrado, considerando la cantidad de alumbrados total de 55 unidades y la mano de obra como un 10% del total.

Tabla 44 – Detalle inversión inicial del proyecto.

UN ALUMBRADO:					
EQUIPO	MARCA	MODELO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO [S]	VALOR TOTAL [S]
Alumbrado LED	Schreder	AKILA 144LED 236W	1	893,930	893,930
Modulos	Solartec	S72MC 315W	2	127,358	254,715
Rotor eólico	Enertik	GE-600-24	1	1,207,896	1,207,896
Batería	Solarmotion	Monoblock SM 190	4	134,642	538,569
Inversor	Inversor HQ	HQ 300W (24V)	1	62,680	62,680
Controlador	WindSolar	QW-800JN	1	62,574	62,574
Cableado 1m	Kobrex	AWG N°3	16	1,862	29,789
	Kobrex	AWG N°5	13	1,188	15,443
	Kobrex	AWG N°7	2	759	1,517
	Kobrex	AWG N°27	13	620	8,054
				<b>SUBTOTAL -&gt;</b>	3,075,168
mástil + Estructura soporte			1	25% del Subtotal ->	768,792
				<b>TOTAL -&gt;</b>	3,843,960
<b>ALUMBRADO TOTAL:</b>			55	<b>TOTAL -&gt;</b>	211,417,804
Mano de obra				10% del total ->	21,141,780
<b>INVERSIÓN INICIAL:</b>					232,559,584

Fuente: Elaboración propia (2016)

Con una potencia instalada total de 67.7 [kW], el costo de instalación del diseño propuesto es de 5.1 [ $US\$/W$ ].

## 8.3 ANÁLISIS DE VAN

El valor actual neto (VAN) se realiza en base a la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (30)$$

Dónde:

$V_t$ = Flujo de caja en cada periodo t.

$I_0$ = Inversión inicial.

$n$ = n° de periodos considerados.

$k$ = tipo de interés.

Para el análisis de VAN se realizó un flujo de caja, disponible en el ANEXO 12. El cual detalla los ingresos y los costos anuales hasta 25 años, como horizonte del proyecto. Este horizonte se escogió debido a que tanto los módulos fotovoltaicos como el aerogenerador presentan una vida útil de 25 años. Con una tasa de descuento de 10%, para este análisis en particular se utilizaron ingresos virtuales, como ahorro anual que se genera al implementar el proyecto, ya que no se cancelará dinero por la compra de energía, pero es posible tomarlos como ingresos propiamente tal, debido a que, se evita la cancelación de la energía consumida.

Considerando un costo estimado de la energía de  $125 \left[ \frac{\$}{kWh} \right]$  se elabora la tabla 45, en donde se expone el ahorro mensual y anual que se tendría de implementarse el proyecto. En dicha tabla aparecen los consumos energéticos mensuales de la luminaria VSAP actual de 400W existente en el lugar, junto al costo mensual que conlleva dicho consumo.

Tabla 45 – Ahorro mensual y anual, si se implementa el proyecto.

	Días del mes	Potencia	Horas de operación	Consumo EE al mes	Ahorro mes
	[días/mes]	[W]	[hr/día]	[kWh/mes]	[\$/mes]
<b>Enero</b>	31	400	10	124.0	15,500
<b>Febrero</b>	28	400	10	112.0	14,000
<b>Marzo</b>	31	400	10	124.0	15,500
<b>Abril</b>	30	400	11	132.0	16,500
<b>Mayo</b>	31	400	11	136.4	17,050
<b>Junio</b>	30	400	11	132.0	16,500
<b>Julio</b>	31	400	11	136.4	17,050
<b>Agosto</b>	31	400	11	136.4	17,050
<b>Septiembre</b>	30	400	11	132.0	16,500
<b>Octubre</b>	31	400	10	124.0	15,500
<b>Noviembre</b>	30	400	10	120.0	15,000
<b>Diciembre</b>	31	400	10	124.0	15,500
<b>Ahorro anual con 1 luminaria VSAP</b>					<b>191,650</b> [\$/año]
<b>Ahorro anual con 49 luminarias VSAP</b>					<b>9,390,850</b> [\$/año]

Fuente: Elaboración propia (2016)

De la tabla 45 se comprende que de implementar el proyecto propuesto, se evitará pagar por la energía consumida de las luminarias actuales, ahorrando anualmente \$9.390.850 pesos.

En los costos asociados del flujo de caja se estableció un mantenimiento cada 3 años, el cual coincide con el cambio de las baterías por el cumplimiento del ciclo de descargas, asumiendo un monto de recambio de \$554.177 por luminaria. El mantenimiento como tal se estableció en \$200.000 el cual costeará el arriendo de una grúa canastillo y la mano de obra, por el día.

Este análisis sin embargo da un VAN negativo bajo estas condiciones de -\$228.266.160, lo que hace inviable el proyecto desde el punto de vista económico, además de no existir un periodo de retorno de la inversión.

## 8.4 ANÁLISIS DE VAN INYECTANDO ENERGÍA SOBRANTE A LA RED

Se propone entonces hacer más atractivo el proyecto, inyectando a la Red la energía producida sobrante que genere los módulos fotovoltaicos junto al aerogenerador y que no ocupe la luminaria led.

Para ello se realiza el análisis económico, considerando un precio de venta a la Red de la energía producida de  $110 \left[ \frac{\$}{kWh} \right]$ .

La tabla 46 muestra la energía producida sobrante para cada mes, y el precio de venta asociado. Con el valor anual de venta de la energía, se multiplica por el total de luminarias del proyecto.

Tabla 46 – Ingresos mensuales y anuales si se vende energía sobrante a la Red.

	Consumo EE al mes	EE producida por inst. FV + rotor	EE Sobrante	Venta EE a la Red
	[kWh/mes]	[kWh/mes]	[kWh/mes]	[\$/mes]
Enero	73.2	210.6	137.5	15,123
Febrero	66.1	170.0	103.9	11,429
Marzo	73.2	154.7	81.6	8,971
Abril	77.9	133.8	56.0	6,155
Mayo	80.5	130.0	49.5	5,449
Junio	77.9	113.5	35.6	3,921
Julio	80.5	134.6	54.1	5,953
Agosto	80.5	164.2	83.7	9,208
Septiembre	77.9	157.0	79.1	8,703
Octubre	73.2	165.6	92.4	10,168
Noviembre	70.8	198.7	127.9	14,074
Diciembre	73.2	206.9	133.7	14,712
<b>Venta EE a la red de 1 luminaria led</b>				<b>113,868</b> [\$/año]
<b>Venta EE a la red de 55 luminarias led's</b>				<b>6,262,717</b> [\$/año]

Fuente: Elaboración propia (2016)

El análisis de VAN para esta situación se encuentra disponible en el ANEXO 13. Se realizó un flujo de caja similar al anterior, pero esta vez se dispuso de la energía venida a la Red como un ingreso anual.

Este análisis sin embargo continúa dando un VAN negativo de  $-\$171.419.229$ , lo que hace inviable el proyecto desde el punto de vista económico, además de no existir un periodo de retorno de la inversión.

## Capítulo 9: PROPUESTA DE DISEÑO ALTERNATIVO

Como el diseño propuesto no logró ser viable económicamente bajo las condiciones iniciales, se propondrá de manera anexa un nuevo diseño alternativo bajo nuevas condiciones para lograr obtener un atractivo económico y q sea viable en este aspecto.

Del diseño anterior se puede apreciar que el rotor eólico aumenta notoriamente la inversión inicial del proyecto, mientras que las baterías repercuten en el análisis temporal del flujo de cajas. Considerando este antecedente, el diseño alternativo de luminaria dejará su carácter híbrido reemplazando el rotor eólico por más módulos fotovoltaicos, y mejorará la calidad de las baterías escogiendo unas de mayor ciclo de descargas.

El diseño alternativo tendrá autonomía durante todo el año, y la energía sobrante será vendida a la Red.

### 9.1 SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE PROPUESTA ALTERNATIVA

Para bajar los costos iniciales, el diseño contempla mantener los postes originales del trayecto a considerar y propone instalar postes intermedios entre los ya existentes. Como la distancia entre postes originales es de 39m, al instalar postes intermedios la distancia será de 19.5m. Esto resulta en 98 postes totales para una distancia total de 1911m del trayecto en estudio.

El diseño alternativo seguirá utilizando tecnología led para iluminar, pero disminuirá su potencia. La luminaria utilizada en el diseño es una luminaria led marca LG, modelo Lighting Type 3, de potencia 128[W] y de flujo luminoso 16300[lm].

Utilizando la ecuación (28), bajo las mismas condiciones del diseño anterior se obtiene el nivel de Iluminancia media teórica de la instalación:

$$E_m = \frac{\Phi * f_u * f_m}{A * d} = \frac{16300 * 0.9 * 0.9}{22 * 19.5} = 30.78 \text{ [Lx]}$$

De la ecuación (27), bajo las mismas condiciones del diseño anterior, se tiene el nivel de Luminancia:

$$L = \frac{E_m}{R} = \frac{30.78}{14} = 2.2 \text{ [Cd/m}^2\text{]}$$

## 9.2 ANÁLISIS TÉCNICO DE PROPUESTA ALTERNATIVA

- Estimación de la demanda energética

Este análisis considera una sola luminaria, y se replicará en las siguientes. Siguiendo el procedimiento del diseño anterior, pero utilizando un factor de seguridad del 5% y un factor  $K_t$ , se elabora la Tabla 47.

Tabla 47 – Demanda energética para cada mes del diseño alternativo.

Iluminación Led LG	Días del mes	n° equipos	Potencia	Horas operación	Consumo energía al día	Con factor de Seguridad +5%	Factor de Seguridad $K_t$	Con factor de seguridad $K_t$
	[días/mes]		[W]	[hr/día]	[Wh/día]	[Wh/día]		[Wh/día]
Enero	31	1	128	10	1280.0	1344.0	0.79	1701.3
Febrero	28	1	128	10	1280.0	1344.0	0.79	1701.3
Marzo	31	1	128	10	1280.0	1344.0	0.79	1701.3
Abril	30	1	128	11	1408.0	1478.4	0.79	1871.4
Mayo	31	1	128	11	1408.0	1478.4	0.79	1871.4
Junio	30	1	128	11	1408.0	1478.4	0.79	1871.4
Julio	31	1	128	11	1408.0	1478.4	0.79	1871.4
Agosto	31	1	128	11	1408.0	1478.4	0.79	1871.4
Septiembre	30	1	128	11	1408.0	1478.4	0.79	1871.4
Octubre	31	1	128	10	1280.0	1344.0	0.79	1701.3
Noviembre	30	1	128	10	1280.0	1344.0	0.79	1701.3
Diciembre	31	1	128	10	1280.0	1344.0	0.79	1701.3

Fuente: Elaboración propia (2016)

- Cobertura de la demanda energética

El módulo fotovoltaico utilizado en el diseño alternativo es el mismo del modelo utilizado en el diseño anterior, las características se encuentran en la Tabla 34. Este diseño alternativo contempla 6 módulos fotovoltaicos instalados en paralelo.

Siguiendo el mismo procedimiento del diseño anterior, se obtiene la energía producida por un sistema fotovoltaico para una luminaria.

Tabla 48 – Energía producida por diseño alternativo para cada mes.

	Días del mes	Radiación superficial inclinada	Hse	E. producida por panel Fotovoltaico	E. producida por instalación Fotovoltaica	E. producida por instalación Fotovoltaica
	[días/mes]	[kWh/m <sup>2</sup> día]	[horas/día]	[Wh/día]	[Wh/día]	[kWh/mes]
Enero	31	6.15	6.15	1937.3	11623.5	360.3
Febrero	28	5.75	5.75	1811.3	10867.5	304.3
Marzo	31	5.07	5.07	1597.1	9582.3	297.1
Abril	30	4.03	4.03	1269.5	7616.7	228.5
Mayo	31	2.82	2.82	888.3	5329.8	165.2
Junio	30	2.06	2.06	648.9	3893.4	116.8
Julio	31	2.60	2.60	819.0	4914.0	152.3
Agosto	31	3.60	3.60	1134.0	6804.0	210.9
Septiembre	30	4.42	4.42	1392.3	8353.8	250.6
Octubre	31	5.17	5.17	1628.6	9771.3	302.9
Noviembre	30	5.87	5.87	1849.1	11094.3	332.8
Diciembre	31	5.88	5.88	1852.2	11113.2	344.5

Fuente: Elaboración propia (2016)

La Tabla 49 muestra el factor de servicio para cada mes, y se aprecia que no existen meses en que se produzca deficiencia energética.

Tabla 49 – Factor de servicio para cada mes del diseño alternativo.

	Factor servicio	Demanda no cubierta
	[%]	[kWh/mes]
Enero	683.2%	-307.6
Febrero	638.8%	-256.7
Marzo	563.2%	-244.3
Abril	407.0%	-172.4
Mayo	284.8%	-107.2
Junio	208.0%	-60.7
Julio	262.6%	-94.3
Agosto	363.6%	-152.9
Septiembre	446.4%	-194.5
Octubre	574.4%	-250.2
Noviembre	652.1%	-281.8
Diciembre	653.2%	-291.8

Fuente: Elaboración propia (2016)

- Cálculo de baterías

Con una demanda energética de 1871.4 [ $Wh/día$ ], 2 días de autonomía, una profundidad de descarga de 80%, y trabajando a una tensión de 24[V], se tiene de la ecuación (2) una capacidad de 194.9 [Ah]

La batería escogida es de marca Trojan, modelo J185E-AC, de 194[Ah] y 12[V]. Con esta capacidad resulta en 1.99 días de autonomía para el sistema.

Como el sistema generador posee 24[V], se requiere de 2 baterías del modelo escogido, las cuales se deben conectar en serie para duplicar la tensión nominal.

- Cálculo de controlador de cargas

El modulo fotovoltaico posee una corriente de corto circuito de 8.95 [A], pero al ser 6 módulos y estar conectados en paralelo la intensidad será:  $I_{sist\ FV} = 53.7$  [A].

El controlador escogido es de marca Schneider, modelo Xantrex C60, el cual trabaja hasta 60 [A].



- Cálculo de inversor

El inversor escogido es de onda sinusoidal modificada, marca Power Inverter, modelo NV-M150 CA82, el cual eleva la tensión de 24[V] a 230[V] y opera a una potencia de hasta 150[W], suficientes para los 128[W] requeridos.

- Cálculo de conductores eléctricos

Este diseño contempla la caja de componentes a 4 m de altura, la cual alberga los acumuladores, el inversor y el controlador. Como la luminaria led se encuentra a 15m, los módulos fotovoltaicos serán instalados sobre la luminaria, a 18m estimados. Con estos datos se estima un largo de cableado utilizando la ecuación (3). Considerando una conductividad eléctrica del cobre de  $K_{90^{\circ}C} = 45.49 \left[ \frac{m}{\Omega mm^2} \right]$ , se tiene:

- *Modulo – Controlador:*  $\Delta V = 3\%$  ;  $I_{sc} = 8.95 * 6 = 53.7 [A]$  ;  $L = 14 [m]$   

$$S = \frac{2*14*53.7}{45.49*(0.03*24)} = 45.9 \text{ mm}^2 > \text{Normalizado: AWG N}^{\circ}0 \text{ de } 53.5 \text{ mm}^2.$$
- *Controlador - Baterías:*  $\Delta V = 1\%$  ;  $I_{sc} = 60 [A]$  ;  $L = 1 [m]$   

$$S = \frac{2*1*60}{45.49*(0.01*24)} = 10.99 \text{ mm}^2 > \text{Normalizado: AWG N}^{\circ}6 \text{ de } 13.3 \text{ mm}^2$$
- *Controlador - Inversor:*  $\Delta V = 1\%$  ;  $I_{sc} = 60 [A]$  ;  $L = 1 [m]$   

$$S = \frac{2*1*60}{45.49*(0.01*24)} = 10.99 \text{ mm}^2 > \text{Normalizado: AWG N}^{\circ}6 \text{ de } 13.3 \text{ mm}^2$$
- *Inversor - Cargas:*  $\Delta V = 3\%$  ;  $I_{sc} = 1 [A]$  ;  $L = 11 [m]$   

$$S = \frac{2*11*1}{45.49*(0.03*230)} = 0.07 \text{ mm}^2 > \text{Normalizado: AWG N}^{\circ}28 \text{ de } 0.081 \text{ mm}^2.$$

### 9.3 ANÁLISIS ECONÓMICO DE PROPUESTA ALTERNATIVA

- Costos

Utilizando la Tabla 42 para convertir monedas internacionales a moneda nacional, se tiene:

Tablas 50 – Costos de los elementos y dispositivos del diseño alternativo.

<b>ELEMENTO</b>	Luminaria led	<b>ELEMENTO</b>	Modulo FV	<b>ELEMENTO</b>	Batería
<b>MARCA</b>	LG	<b>MARCA</b>	Solartec	<b>MARCA</b>	Trojan
<b>MODELO</b>	LED Lighting Type 3	<b>MODELO</b>	S72MC 315W	<b>MODELO</b>	J185E-AC 12V 194 Ah
<b>VALOR [€]</b>	646.84	<b>VALOR [US\$]</b>	189.00	<b>VALOR [€]</b>	255.00
<b>VALOR [\$]</b>	455,550	<b>VALOR [\$]</b>	127,358	<b>VALOR [\$]</b>	179,589
<b>FECHA</b>	20/12/2016	<b>FECHA</b>	21/12/2016	<b>FECHA</b>	20/12/2016
<b>FUENTE</b>	ESTIMADO	<b>FUENTE</b>	<a href="https://goo.gl/m8RuVL">https://goo.gl/m8RuVL</a>	<b>FUENTE</b>	<a href="https://goo.gl/hcwnJC">https://goo.gl/hcwnJC</a>

<b>ELEMENTO</b>	Inversor	<b>ELEMENTO</b>	Controlador	<b>ELEMENTO</b>	Conductor eléctrico (1m)		
<b>MARCA</b>	Power Inverter	<b>MARCA</b>	Schnedeider	<b>MARCA</b>	Kobrex		
<b>MODELO</b>	NV-M150 CA82	<b>MODELO</b>	Xantrex C60	<b>MODELO</b>	AWG N°0	AWG N°6	AWG N°28
<b>VALOR [€]</b>	26.08	<b>VALOR [€]</b>	148.29	<b>VALOR [\$mex]</b>	90.46	23.56	18.79
<b>VALOR [\$]</b>	18,367	<b>VALOR [\$]</b>	104,436	<b>VALOR [\$]</b>	2,982	777	620
<b>FECHA</b>	27/12/2016	<b>FECHA</b>	27/12/2016	<b>FECHA</b>	01/11/2010		
<b>FUENTE</b>	<a href="https://goo.gl/7y3FIA">https://goo.gl/7y3FIA</a>	<b>FUENTE</b>	<a href="https://goo.gl/8YQ43I">https://goo.gl/8YQ43I</a>	<b>FUENTE</b>	<a href="https://goo.gl/2btRPv">https://goo.gl/2btRPv</a>		

Fuente: Elaboración propia (2016)

Los mástiles faltantes del diseño serán considerados como un 20% adicional de todos los costos totales. Mientras que las estructuras de soportes serán consideradas como un 10% adicional de todos los costos totales.

- Inversión inicial

Tabla 51 – Detalle de inversión inicial del proyecto alternativo.

UN ALUMBRADO:						
EQUIPO	MARCA	MODELO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO [\$]	VALOR TOTAL [\$]	
Alumbrado LED	LG	LED Lighting Type 3	1	455,550	455,550	
Modulos	Solartec	S72MC 315W	6	127,358	764,146	
Batería	Trojan	J185E-AC 12V 194 Ah	2	179,589	359,178	
Inversor	Power Inverter	NV-M150 CA82	1	18,367	18,367	
Controlador	Schnedeider	Xantrex C60	1	104,436	104,436	
Cableado 1m	Kobrex	AWG N°0	14	2,982	41,755	
	Kobrex	AWG N°6	2	777	1,554	
	Kobrex	AWG N°28	11	620	6,815	
<b>SUBTOTAL -&gt;</b>						1,751,800
Mástiles			49	20% del Subtotal ->		17,167,638
estructuras soportes			98	10% del Subtotal ->		17,167,638
<b>ALUMBRADO TOTAL:</b>			98	<b>TOTAL -&gt;</b>		206,011,658
Mano de obra				10% del total ->		20,601,166
<b>INVERSIÓN INICIAL:</b>						226,612,823

Fuente: Elaboración propia (2016)

Con una potencia instalada total de 185.2 [kW], el costo de instalación de este diseño alternativo es de 1.82 [ $\frac{US\$}{W}$ ].

- Análisis VAN

En el ANEXO 14 se detalla el flujo de caja del diseño alternativo, considerando un mantenimiento y cambio de baterías cada 4 años cumpliendo el ciclo de descargas del modelo escogido.

La tabla 52 muestra la energía producida sobrante para cada mes y año, junto al precio de la venta anual para el diseño alternativo, con un precio estimado de venta a la Red de la energía producida de 110  $[\frac{\$}{kWh}]$ .

Tabla 52 – Ingresos mensuales y anuales de diseño alternativo si se vende energía a la Red.

	Consumo EE al mes	EE producida por inst. FV	EE Sobrante	Venta EE a la Red
	[kWh/mes]	[kWh/mes]	[kWh/mes]	[\$/mes]
<b>Enero</b>	39.7	360.3	320.6	35,271
<b>Febrero</b>	35.8	304.3	268.5	29,530
<b>Marzo</b>	39.7	297.1	257.4	28,311
<b>Abril</b>	42.2	228.5	186.3	20,489
<b>Mayo</b>	43.6	165.2	121.6	13,373
<b>Junio</b>	42.2	116.8	74.6	8,202
<b>Julio</b>	43.6	152.3	108.7	11,955
<b>Agosto</b>	43.6	210.9	167.3	18,400
<b>Septiembre</b>	42.2	250.6	208.4	22,921
<b>Octubre</b>	39.7	302.9	263.2	28,955
<b>Noviembre</b>	38.4	332.8	294.4	32,387
<b>Diciembre</b>	39.7	344.5	304.8	33,531
<b>Venta EE a la red de 1 luminaria led</b>				<b>283,326</b> [\$/año]
<b>Venta EE a la red de 98 luminarias led's</b>				<b>27,765,972</b> [\$/año]

Fuente: Elaboración propia (2016)

El análisis VAN para este diseño alternativo resulta en \$42.129.636 para un horizonte de 25 años y una tasa de descuento del 10%, con un periodo de retorno de la inversión de 14.5 años.

## Capítulo 10: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el presente informe de habilitación profesional se realizó un estudio técnico y económico para un diseño de luminaria pública autónoma de consumo híbrido aprovechando el potencial eólico y el potencial solar existente en el puente Llacolén. En base a lo anterior se establecieron ciertos objetivos, detallados en la sección 1.3, los cuales se fueron cumpliendo en el desarrollo del informe.

El estudio técnico realizado demostró la factibilidad de que el diseño propuesto resulte exitoso y funcione autónomamente durante el año. Para que ello fuera posible, primeramente se analizó el sistema actual de iluminación, estableciendo las condiciones de operación de las luminarias existentes en el lugar. Aquí se logró concluir que las luminarias presentes están por sobre los valores de iluminancia y luminancia recomendados para carreteras de 20 [Lux] y 2 [ $Cd/m^2$ ] respectivamente, con valores teóricos calculados de 35.8 [Lux] y 2.6 [ $Cd/m^2$ ]. Esto se explica ya que el tramo estudiado es notoriamente más importante que otros trayectos, al tratarse de un viaducto sobre un río y de alto flujo en horas punta. Debido a esto el nuevo diseño propuesto priorizó el cumplimiento de la normativa, sobredimensionándolo para intentar mantener las condiciones de iluminación anterior.

Se analizaron varios modelos de luminarias led para escoger uno que se adecúe a las prestaciones requeridas. Cabe comentar que las luminarias led existentes en el mercado presentan una gran oferta orientadas a la iluminación outdoor de mediana y baja potencia para calles residenciales, calles peatonales, plazas y ciclovías, quedando un grupo menos numeroso de marcas que ofrecen luminarias led outdoor orientadas a la iluminación de autopistas, puentes y túneles, y que ofrecen luminarias led de alto flujo luminoso, por sobre los 22.000 lúmenes. Esto se debe a que las luminarias led de gran potencia luminosa se encuentran aún en desarrollo y la oferta es moderada. Las empresas ofrecen cada cierto tiempo modelos mejorados de luminarias led, acorde al desarrollo y la investigación en esta área.

El modelo escogido de luminaria led se puede catalogar como una luminaria de altas prestaciones, gran potencia luminosa y de última generación. Con el modelo escogido se realizaron los cálculos de iluminancia y luminancia, resultando en 30 [Lux] y 2.14 [ $Cd/m^2$ ] respectivamente.

Durante el estudio de los diferentes tipos de luminarias, se pudo determinar que las luminarias led presentan una mejor temperatura de color que las lámparas de vapor de sodio de alta presión (LVSAP), permitiendo una mejor representación de los colores. La luminaria led escogida presenta

una temperatura de color de 4250 [K], mientras que la luminaria VSAP escogida para el análisis teórico presenta una temperatura de color de 2000 [K].

Para bajas y medianas potencias, las lámparas led presentan mejor eficiencia luminosa, sin embargo se pudo apreciar que para mayores potencias, esta diferencia de eficiencia luminosa se acorta. La luminaria led escogida presenta una eficiencia luminosa de 122 [ $lm/W$ ], mientras que la lámpara VSAP escogida para el análisis presenta una eficiencia luminosa de 120 [ $lm/W$ ].

Teniendo ya la luminaria seleccionada, el siguiente paso consistió en determinar el potencial solar y eólico del sector de estudio. Para el potencial solar se priorizaron las condiciones de orientación en que se conseguía más radiación para los periodos más críticos, resultando en una orientación de los módulos hacia el norte, con un ángulo elevación de 36°. En cuanto a la obtención del potencial eólico, se realizó un estudio y análisis más acabado recurriendo a herramientas estadísticas para el buen manejo de los datos. El uso del software WRPLOT permitió trabajar con los datos de orientación, elaborando una rosa de los vientos, para establecer que la dirección predominante de los vientos proviene desde el Sudoeste, el 55% del tiempo. La interpretación de la Rosa de los vientos permitió determinar la mejor posición para los aerogeneradores. Además se determinó que la rapidez de vientos predominante se encuentra entre 3.5 y 4.5 m/s, por debajo de las rapidezces que se esperaban al comienzo de este informe.

Esto último se explica básicamente porque las rapidezces de vientos se obtuvieron de una gran base de datos de anuarios meteorológicos que se elaboran en la estación meteorológica Carriel Sur. Aquí se miden las rapidezces de viento desde sus instalaciones, distante aproximadamente 7 km del puente Llacolén. Por lo tanto se infiere que las condiciones reales del sector de estudio son mejores con presencia de vientos locales provenientes del mar, que se encausan por la planicie que considera el trayecto de la desembocadura del río Bío-Bío.

Con el potencial determinado, se procedió a establecer la demanda energética de la luminaria, esto para dimensionar posteriormente el sistema fotovoltaico y el sistema eólico. En este punto se optó por realizar el diseño con una tensión de 24[V]. Trabajar con 12[V], 24[V], o 48 [V] presenta ciertas facilidades y otros inconvenientes asociados. Básicamente los equipos que trabajan a 12[V] son más pequeños y de menor potencia que los de 24[V] o 48[V], si bien esto hace que la luminaria completa fuera más ligera y económica; no logra satisfacer completamente la demanda energética de la luminaria escogida. Por lo tanto se optó por trabajar a 24[V] para tener a disposición equipos de mayor potencia y así satisfacer la demanda energética.

El aerogenerador escogido es un modelo de 600W y el modulo fotovoltaico es de 315W, pero el hecho de que en los catálogos aparezcan estas potencias dista mucho de la realidad. Ya que para

el caso del aerogenerador, esta potencia se alcanza particularmente para rapideces de viento de 12[m/s], valor muy elevado para los datos que se trabajaron. Para el caso de los módulos la situación es similar, ya que los datos expuestos en el catálogo son reales para condiciones particulares de 25°C y 1000[W/m<sup>2</sup>] de irradiancia. Esto último es la razón de por qué el factor de operación resultante de ambos sistemas juntos variara entre 12.8% y 23.0% durante el año.

Una vez analizado técnicamente el diseño propuesto, y comprobado que sí funciona en el sector designado, se procedió a analizar su factibilidad económica de implementación. Para ello se expusieron los costos de los equipos bajo las especificaciones técnicas definidas en el análisis. Se pudo apreciar que el alto costo de algunos equipos, como el aerogenerador, aumentó considerablemente la inversión inicial. Los aerogeneradores analizados en el mercado presentan precios similares al expuesto, despendiendo de la “calidad” de sus curvas de potencia. Se analizaron modelos de 200W, 400W, 600W, y 800W, seleccionando el modelo de 600W como el idóneo para cumplir las demandas energéticas.

La luminaria led, por tratarse de un equipo de última generación y alta potencia, elevó su costo muy por sobre lo esperado, al tratarse de una tecnología aún en desarrollo para el caso de luminarias led de alto flujo luminoso, como se explicó anteriormente. Además las luminarias de altas prestaciones trabajan con voltajes de 220-230[VAC] haciendo necesario un inversor de corriente que eleve y transforme el voltaje del sistema de 24[VDC] a 230[VAC].

La estructura metálica se estimó como el 25% de los costos iniciales, basándose en la literatura. El costo de la estructura metálica adquiere notoriedad dentro de los costos generales, ya que esta estructura deberá soportar todos los equipos y los esfuerzos que se presenten, además de soportar la caja metálica que aloje los acumuladores y componentes menores.

La inversión inicial consideró los costos de las 55 luminarias designadas por diseño, más un 10% adicional por la mano de obra asociada a la instalación, resultando finalmente en \$232.559.584. Con un costo de instalación de 5.1 [US\$/W].

Ya con la inversión inicial estimada, se determinó a través de un análisis VAN que este proyecto no resulta factible económicamente para ser implementado. Esto se explica en parte por la alta inversión a realizar, como consecuencia de los altos costos de los equipos seleccionados. Aún vendiendo la energía sobrante a la red no resulta económicamente atractivo implementar dicho proyecto.

El análisis económico permitió concluir que el proyecto resulta muy ambicioso para ser implementado hoy en día, bajo las condiciones en que fue diseñado. Los costos de los equipos

siguen siendo altos en la actualidad, aunque la tendencia futura es a la baja de sus precios debido al constante desarrollo tecnológico que siguen teniendo. Tanto los módulos fotovoltaicos, como los miniaerogeneradores y las luminarias led de alto flujo luminoso se encuentran en un constante desarrollo con la investigación de nuevos materiales para emplear en ellos, que mejoren el desempeño y la eficiencia energética, pero las nuevas tecnologías que salen al mercado siempre poseen un alto costo. Esta es la razón de que estos proyectos de luminarias autónomas híbridas sean escasos en el país, y se encuentren solo para sectores rurales y lugares más reducidos que una autopista o un viaducto, con sistemas de bajo flujo luminoso, y con luminarias led que trabajen a 12 [VDC] sin inversor, además de módulos y miniaerogeneradores de baja potencia.

Rediseñar el proyecto bajo los mismos parámetros establecidos tampoco se ve auspicioso económicamente, debido a que en este caso el proyecto se basa en cumplir con las normativas urbanas y asegurar una buena iluminación más que en obtener ganancias económicas en la vida del proyecto. Al realizar otros diseños híbridos autónomos con tecnologías de menor potencia los costos disminuyen, pero también disminuye la capacidad de las luminarias, lo que hace aumentar la cantidad de éstas en el mismo trayecto, para mantener los estándares de iluminación. Esto conlleva a que la inversión inicial sea aún más elevada.

De manera anexa a los objetivos de este informe de HP, se rediseñó el proyecto bajo otros parámetros, dejando el modelo híbrido para operar solo con tecnología fotovoltaica, y priorizando la venta a la Red de la energía sobrante. El diseño alternativo presentó un costo de instalación de 1.82 [ $US\$/W$ ]. Esto se realizó para demostrar que estas tecnologías sí pueden presentar un atractivo económico, dependiendo del objetivo para el cual sean diseñados. Incluso implementar aerogeneradores se podría reconsiderar, de tener una base de datos más acotada geográficamente al sector de implementación.

Aunque el diseño híbrido propuesto sea inviable hoy en día económicamente, estas tecnologías serán el futuro de las energías limpias. No hay que dejar de lado el impacto social que representa operar estas luminarias utilizando ambas energías renovables, considerando la opinión pública a favor de la utilización de estas energías. Esto generaría mayor conciencia ambiental en la comunidad además de una imagen de modernidad y sustentabilidad en el Gran Concepción.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1- Canales, L. (Red.). (2013). *“Diseño y dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos”*. Cámara Chilena de la Construcción. Recuperado de: <https://goo.gl/rxodva>
- 2- Miguel, T. (2012). *“Diseño de un sistema de riego utilizando Energía Solar Fotovoltaica”*. Concepción. Chile. Departamento de Ingeniería Mecánica.
- 3- Mery, B. y Vacarezza, T. (s.f.). *“Tendencias actuales de precios y tecnologías en plantas de generación fotovoltaica”*. Recuperado de: <https://goo.gl/h0Y6XZ>
- 4- García, J. (2016). *“Qué son los semiconductores”*. Recuperado de: <https://goo.gl/8fns>
- 5- Ascencio, C. y Medina, K. (2013). *“Estudio de pre-factibilidad de utilización de Energía fotovoltaica en la VIII región”*. Concepción, Chile. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad del Bío-Bío.
- 6- Santiago. (s.f.). *[Descripción de celdas Solares de Arseniuro de Galio]*. Recuperado de: <https://goo.gl/To7jh5>
- 7- Enciclopedia de Clasificaciones. (2016). *“Tipos de Baterías”*. Recuperado de: <https://goo.gl/XXADt>
- 8- *“Baterías de Li-Io: Ventajas, Desventajas y Mantenimiento”*. (2014). Recuperado de: <https://goo.gl/DVBDGz>
- 9- *“Clasificación de las Baterías según el régimen de descarga”*. (2012). Recuperado de: <https://goo.gl/hwVeZW>
- 10- *“Conexión en serie y en paralelo para varias baterías”*. (2014). Recuperado de: <https://goo.gl/SWJlyE>
- 11- Valenzuela, L. (2011). *“Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para la iluminación del laboratorio de energías renovables no-convencionales del departamento de ingeniería mecánica - Universidad del Bío-Bío”*. Concepción. Chile. Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad del Bío-Bío.
- 12- *“¿De dónde viene la energía eólica?”*. (2003). Recuperado de: <https://goo.gl/ga4ID6>
- 13- *“Solaire Photovoltaïque”*. (2013). Recuperado de: <https://goo.gl/Jyi5fD>
- 14- *“Energía Eólica, fundamentos, aspectos técnicos, medioambientales y socioeconómicos”*. (s.f.). Recuperado de: <https://goo.gl/TGRzHI>
- 15- *“Energía Eólica”*. (2013). Recuperado de: <https://goo.gl/PE4y8z>
- 16- *“Manual de referencia primera parte: Conceptos sobre la energía eólica”*. (2003). Recuperado de: <https://goo.gl/8Moi3F>



- 17- Bennett, S. (2007). *“Análisis de las variables más relevantes en proyectos eólicos para generación de energía eléctrica”*. Concepción. Chile. Departamento Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío.
- 18- *“Efectos aceleradores: efecto túnel”*. (2003). Recuperado de: <https://goo.gl/n2O9HU>
- 19- *“Energía Eólica: Guía Técnica”*. (s.f.). Recuperado de: <https://goo.gl/UfkqXR>
- 20- *“Densidad de aire a presión atmosférica estándar”*. (2003). Recuperado de: <https://goo.gl/m987qe>
- 21- *“La rosa de los vientos”*. (2003). Recuperado de: <https://goo.gl/8YRHNL>
- 22- Serrano, J. (2013). *“Comparación de métodos para determinar los parámetros de Weibull para la generación de energía eólica”*. Pamplona. Colombia. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad de Pamplona.
- 23- Guajardo, P. y Jara, V. (2011). *“Estudio y diseño de un sistema híbrido solar-eólico conectado a la red eléctrica para la escuela de Tumbes”*. Concepción. Chile. Departamento Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad del Bío-Bío.
- 24- *“Energía Solar y Renovables, Medición y tratamiento de los datos de viento”*. (s.f.). Recuperado de: <https://goo.gl/LfFRsQ>
- 25- *“Nociones generales de Energía Eólica, Estadística del viento”*. (s.f.). Recuperado de: <https://goo.gl/SUXoOJ>
- 26- Muñoz, D. (2012). *“Centro intercomunal de fomento a las ERNC en la granja educativa de la comuna de Chiguallante-Hualqui: Generador eólico y generador fotovoltaico”*. Concepción. Chile. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad del Bío-Bío.
- 27- *“Aerogeneradores”*. (2003) Recuperado de: <https://goo.gl/SbEV4I>
- 28- *“Colectores y anillos”*. (2016). Recuperado de: <https://goo.gl/X6QQGZ>
- 29- Martínez, A. y Varas, T. (2013). *“Estudio y comparación de las topologías más comunes utilizadas en generadores eólicos”*. Concepción. Chile. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad del Bío-Bío
- 30- *“Tamaño de aerogeneradores”*. (2003). Recuperado de: <https://goo.gl/jTv3Mf>
- 31- *“Energía Eólica”*. (s.f.). Recuperado de: <https://goo.gl/wPgPPQ>
- 32- *“La Ley de Betz”*. (2003). Recuperado de: <https://goo.gl/XsB7zs>
- 33- Consultora R&Q Ingeniería S.A. (2014). *“Manual de Carreteras”*. Chile. Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas.

- 34- Álvarez, J. (2009). "*Luminotecnia*". Recuperado de: <https://goo.gl/sVFEtg>
- 35- "*Manual de Iluminación Vial*". (2015). Recuperado de: <https://goo.gl/4HFkrp>
- 36- Weigel, R. (1973). "*Luminotecnia y sus principios*". Editorial Gustavo Gili S.A.
- 37- "*Programa de capacitación para municipios en tema de eficiencia energética de alumbrado público*". (2013). Iquique. Chile. Superintendencia de Electricidad y Combustibles, Gobierno de Chile.
- 38- García, J. (s.f.). "*Cálculo de instalaciones de Alumbrado*". Recuperado de: <https://goo.gl/nTklys>
- 39- Canales, C. (2008). "*Norma Energías renovables, Aerogeneradores*". Santiago. Chile. Comisión Nacional de Energía.
- 40- Canales, C. y Céspedes, G. (2008). "*Normas Energías Renovables, Fotovoltaica*". Santiago. Chile. Comisión Nacional de Energía.
- 41- Dirección de Aeronáutica Civil. (2016). "*Anuarios Climatológicos*". Santiago. Chile. Recuperado de: <http://164.77.222.61/climatologia/php/menuAnuarios.php>
- 42- "*Climas en Concepción*". (2016). Recuperado de: <https://goo.gl/HoawX3>
- 43- Vásquez, C. y Bertín, X. (2012). "*Aumento del parque automotor genera tacos en regiones*". Santiago. Chile. La tercera. Recuperado de: <https://goo.gl/NFdkTt>
- 44- Comisión nacional de energía. (2008). "*Irradiancia solar en el territorios de la república de Chile*". Santiago. Chile. Recuperado de: <https://goo.gl/qfg72q>
- 45- Damia Solar. (2016). "*Conexión paneles solares: en paralelo, en serie y conexión en serie y paralelo*". Cataluña. España. Recuperado de: <https://goo.gl/HJcTsd>
- 46- Voltimum. (2008). "*Ejemplo de cálculo de caída de tensión en una instalación fotovoltaica*". Barcelona. España. Recuperado de: <https://goo.gl/EXYKdu>
- 47- "*Valores oficiales de conductividad para Cu y Al para cálculos eléctricos*". (s.f.). Recuperado de: <https://goo.gl/sdrxwv>
- 48- Hernández, L. Zapatero, M. (2012). "*Estudio de una instalación mixta fotovoltaica y eólica, aplicada a una casa rural*". Valladolid. España. Escuela de ing. industrial. Universidad de Valladolid. Recuperado de: <https://goo.gl/FebdXg>

## ANEXOS

- **ANEXO 1:** Dirección del viento para Concepción. 2005 – 2015.

*La dirección General de Aeronáutica Civil entrega las medias mensuales de dirección del viento en las horas 8, 14 y 20 horas, entre otros datos; los cuales fueron filtrados y ordenados en el siguiente anexo.*

2005	8 hrs	14 hrs	20 hrs	2006	8 hrs	14 hrs	20 hrs
Enero	SO	SO	SO	Enero	N	SO	SO
Febrero	SO	SO	SO	Febrero	SE	SO	SO
Marzo	CALMA	SO	SO	Marzo	S	SO	SO
Abril	S	SO	SO	Abril	SE	SO	SO
Mayo	SE	N	N	Mayo	SE	N	NE
Junio	CALMA	N	N	Junio	SE	N	N
Julio	SE	N	N	Julio	SE	N	N
Agosto	SE	N	N	Agosto	S	N	S
Septiembre	SE	SO	SO	Septiembre	SE	SO	SO
Octubre	S	SO	SO	Octubre	S	O	SO
Noviembre	SO	SO	SO	Noviembre	SO	SO	SO
Diciembre	S	SO	SO	Diciembre	N	SO	SO
ANUAL	S	SO	SO	ANUAL	SE	SO	SO

2007	8 hrs	14 hrs	20 hrs	2008	8 hrs	14 hrs	20 hrs
Enero	SO	SO	SO	Enero	SO	SO	SO
Febrero	S	O	SO	Febrero	SO	N	SO
Marzo	SO	SO	SO	Marzo	S	N	SO
Abril	S	N	SO	Abril	S	SO	SO
Mayo	S	SO	S	Mayo	SE	SO	N
Junio	SE	N	N	Junio	S	SO	N
Julio	S	SO	N	Julio	N	N	N
Agosto	SE	O	SO	Agosto	N	N	N
Septiembre	SE	N	SO	Septiembre	S	SO	SO
Octubre	N	SO	SO	Octubre	S	SO	SO
Noviembre	S	SO	SO	Noviembre	SO	SO	SO
Diciembre	SO	SO	SO	Diciembre	SO	SO	SO
ANUAL	S	SO	SO	ANUAL	S	SO	SO

2009	8 hrs	14 hrs	20 hrs	2010	8 hrs	14 hrs	20 hrs
Enero	SO	SO	SO	Enero	S	SO	SO
Febrero	S	SO	SO	Febrero	S	SO	SO
Marzo	SO	SO	SO	Marzo	S	SO	SO
Abril	S	SO	SO	Abril	S	SO	SO
Mayo	S	N	N	Mayo	S	SO	S
Junio	S	N	SO	Junio	N	N	N
Julio	S	N	S	Julio	SE	N	N
Agosto	N	N	N	Agosto	S	N	N
Septiembre	S	SO	SO	Septiembre	S	SO	SO
Octubre	SE	SO	SO	Octubre	N	SO	SO
Noviembre	SO	SO	SO	Noviembre	S	SO	SO
Diciembre	SO	SO	SO	Diciembre	S	SO	SO
ANUAL	S	SO	SO	ANUAL	S	SO	SO

2011	8 hrs	14 hrs	20 hrs
Enero	S	SO	SO
Febrero	N	N	SO
Marzo	S	SO	SO
Abril	S	SO	SO
Mayo	S	SO	SO
Junio	SE	N	N
Julio	S	N	N
Agosto	S	N	N
Septiembre	S	SO	SO
Octubre	S	SO	SO
Noviembre	S	SO	SO
Diciembre	N	SO	SO
ANUAL	S	SO	SO

2012	8 hrs	14 hrs	20 hrs
Enero	N	N	SO
Febrero	SO	SO	SO
Marzo	S	SO	SO
Abril	S	SO	SO
Mayo	S	N	CALMA
Junio	S	N	S
Julio	S	SO	S
Agosto	S	N	SO
Septiembre	S	SO	SO
Octubre	S	SO	SO
Noviembre	S	SO	SO
Diciembre	N	SO	SO
ANUAL	S	SO	SO

2013	8 hrs	14 hrs	20 hrs
Enero	SO	N	N
Febrero	SE	SO	SO
Marzo	SO	SO	SO
Abril	S	N	N
Mayo	S	SO	N
Junio	S	SO	S
Julio	S	SO	SO
Agosto	S	SO	SO
Septiembre	S	SO	SO
Octubre	S	SO	SO
Noviembre	S	SO	SO
Diciembre	SO	SO	SO
ANUAL	S	SO	SO

2014	8 hrs	14 hrs	20 hrs
Enero	SO	SO	SO
Febrero	SO	SO	SO
Marzo	S	SO	SO
Abril	S	SO	SO
Mayo	S	N	N
Junio	N	N	NE
Julio	S	N	N
Agosto	S	N	N
Septiembre	N	N	N
Octubre	S	SO	SO
Noviembre	S	SO	SO
Diciembre	S	SO	SO
ANUAL	S	SO	SO

2015	8 hrs	14 hrs	20 hrs
Enero	SO	SO	SO
Febrero	SO	SO	SO
Marzo	SO	SO	SO
Abril	S	SO	SO
Mayo	S	N	N
Junio	S	SO	S
Julio	N	N	N
Agosto	NE	N	N
Septiembre	S	SO	S
Octubre	S	SO	SO
Noviembre	SO	SO	SO
Diciembre	SO	SO	SO
ANUAL	S	SO	SO

- **ANEXO 2:** Rapidez del viento diaria para Concepción a 12m de altura. 2005 – 2015.

Las rapideces de vientos diarias fueron obtenidas desde la estación meteorológica Carriel Sur, a través de la página: <https://goo.gl/HoawX3>.

En las tablas aparecen campos sin valores con el símbolo (-), esto indica que no se ha realizado la media en ese día, ya que no ha habido suficientes datos para incluirla.

2005	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	4.6	5.3	1.6	4.0	2.7	4.9	9.4	7.6	1.3	2.2	5.0	3.4
2	5.9	4.6	2.7	3.4	3.7	3.0	10.0	3.3	2.3	3.3	4.6	3.5
3	5.3	3.1	3.0	3.4	7.4	3.4	2.8	7.4	3.1	3.7	5.4	3.8
4	5.1	1.9	4.3	1.9	3.2	5.6	2.3	1.9	1.7	2.4	5.3	4.2
5	4.9	3.3	3.6	1.9	3.0	2.7	2.5	1.3	2.6	4.2	4.9	4.2
6	5.5	2.5	3.9	2.9	1.5	5.3	3.6	3.0	1.8	3.6	2.5	5.3
7	4.5	3.1	2.8	3.9	1.9	4.0	8.0	3.4	3.4	3.7	-	4.6
8	5.0	4.1	4.5	3.4	2.2	2.4	1.9	2.5	3.5	4.4	-	4.1
9	5.6	3.3	4.1	3.6	7.2	4.6	2.0	1.1	4.2	3.7	-	5.8
10	5.0	3.8	3.6	2.1	3.6	1.1	2.1	1.9	5.3	2.1	-	4.2
11	5.0	2.3	3.8	3.4	2.9	3.1	1.9	2.3	3.8	6.0	-	5.9
12	6.0	1.8	1.6	2.3	4.3	1.9	5.7	3.3	7.6	3.4	-	5.6
13	4.3	1.9	2.3	2.8	0.8	2.7	5.5	2.0	5.0	4.5	-	5.1
14	6.1	2.4	3.4	2.2	2.4	2.6	2.3	2.6	2.5	3.5	-	4.1
15	4.8	2.8	5.9	3.1	2.6	3.0	1.9	5.4	2.6	3.9	-	3.9
16	3.6	3.1	2.6	2.5	8.6	2.1	1.3	9.0	3.0	3.7	-	3.8
17	2.8	3.2	3.9	2.8	4.7	2.0	2.3	2.6	1.8	4.2	-	6.1
18	4.1	3.6	4.2	2.9	7.1	4.6	2.4	1.6	2.3	4.7	-	6.5
19	5.4	4.8	2.6	2.9	3.5	1.3	1.9	3.4	2.6	5.3	-	6.0
20	4.3	3.3	3.9	2.9	1.3	1.6	2.2	8.8	3.6	5.3	-	4.8
21	4.4	3.1	5.1	2.5	1.8	7.1	3.2	5.9	2.6	4.9	-	3.9
22	4.5	4.2	2.7	2.6	5.1	1.9	3.6	1.3	2.7	5.4	-	1.8
23	4.1	3.7	3.5	2.5	10.1	1.2	1.9	2.1	0.8	3.9	-	3.3
24	5.4	3.8	4.0	4.2	2.2	1.3	1.2	2.5	3.3	2.8	-	3.1
25	3.6	4.5	3.8	3.4	6.1	3.4	2.4	3.1	2.9	4.8	-	3.1
26	2.9	3.5	3.2	1.3	3.8	9.2	1.0	7.4	2.2	4.1	-	3.5
27	4.6	3.0	3.8	1.2	7.4	4.4	1.6	4.0	3.5	2.6	-	1.9
28	4.5	2.4	2.6	2.2	9.2	2.0	3.3	5.3	3.2	4.6	-	3.4
29	5.0		3.7	2.1	2.8	6.4	9.4	3.0	3.4	5.0	-	4.9
30	5.4		2.4	1.3	1.8	7.6	6.2	3.3	3.4	4.3	-	4.0
31	4.7		3.6		1.4		3.4	1.6		4.9		3.3

2006	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	2.6	2.8	3.6	2.6	1.6	2.3	5.8	1.8	2.6	3.9	2.9	3.4
2	3.7	2.5	2.8	1.7	1.5	1.1	1.6	6.1	3.0	2.6	3.8	4.2
3	4.0	2.7	3.8	2.3	2.1	0.7	2.2	4.0	2.4	3.4	4.2	5.1
4	3.1	3.7	3.4	3.9	1.9	1.7	2.2	3.3	2.7	2.5	3.6	5.9
5	4.1	4.1	2.5	3.1	1.0	5.5	3.8	1.6	1.6	3.2	4.1	5.4
6	3.8	3.6	1.9	2.7	2.4	8.1	10.3	5.1	3.4	3.6	5.4	5.4
7	2.6	4.1	3.0	2.9	1.6	11.2	6.8	2.6	2.1	3.8	4.1	6.6
8	3.1	4.2	3.4	3.9	1.8	2.8	2.7	6.1	1.7	4.0	2.8	4.5
9	4.2	3.9	2.9	2.9	1.8	2.2	7.4	4.2	5.4	4.2	2.8	4.2
10	2.9	4.0	3.9	2.5	1.9	1.8	7.1	7.9	4.5	2.8	2.3	4.4
11	3.0	2.3	3.5	4.1	1.7	3.8	8.3	4.7	3.1	1.6	4.4	4.6
12	4.9	5.3	2.8	3.9	2.1	4.7	1.1	4.5	3.4	3.4	6.2	4.5
13	4.3	4.0	4.3	2.3	1.7	2.0	2.4	7.8	2.5	4.8	3.3	3.0
14	4.5	2.5	3.0	3.0	3.7	3.6	2.5	1.8	3.4	3.3	3.3	2.2
15	5.1	2.4	4.5	2.3	6.5	3.0	3.5	3.0	3.7	3.6	2.6	5.5
16	4.7	2.0	2.1	2.8	2.2	3.3	2.2	1.4	2.9	2.1	4.1	6.5
17	3.6	2.6	4.1	2.2	1.6	7.9	1.9	2.6	3.6	1.9	4.1	3.2
18	2.5	3.0	4.8	6.9	3.4	4.8	2.3	2.9	3.3	2.4	4.4	2.9
19	4.5	2.5	4.2	10.4	2.3	4.1	2.2	2.9	2.1	1.9	4.5	2.8
20	5.0	2.5	3.6	1.7	2.7	3.2	2.7	2.9	1.8	3.9	6.6	4.7
21	2.5	2.9	3.4	1.9	2.3	2.1	3.9	2.6	3.8	3.7	4.5	2.6
22	4.0	4.2	3.3	2.4	2.1	1.9	3.1	2.5	2.9	4.3	4.1	2.5
23	4.9	4.5	3.0	3.0	3.1	1.3	2.8	1.3	2.9	2.8	5.1	4.1
24	5.4	4.5	4.3	1.7	6.1	4.4	7.7	1.7	2.9	3.8	5.4	3.8
25	4.3	3.6	3.9	0.9	10.3	2.2	6.5	1.2	2.3	4.0	4.6	3.2
26	3.1	4.2	4.5	3.8	1.2	2.3	1.5	3.9	3.1	3.8	4.9	3.4
27	2.6	4.6	4.4	3.6	2.0	2.6	1.7	2.7	3.8	5.1	6.0	3.6
28	2.4	4.4	3.3	3.6	1.1	1.6	2.7	4.1	3.4	4.3	5.2	4.6
29	4.3		2.1	3.4	1.7	3.6	2.1	6.2	3.1	2.6	4.4	5.7
30	3.2		1.6	1.9	2.1	3.4	2.7	8.4	2.1	5.1	5.1	5.2
31	2.9		2.9		4.8		1.9	4.9		3.3		5.3

2007	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	6.3	3.6	4.7	2.2	7.8	1.8	1.8	3.3	2.4	2.1	4.7	4.8
2	4.7	2.9	4.4	2.2	5.4	2.1	2.2	5.8	4.1	1.4	5.3	4.9
3	4.5	3.1	2.3	2.9	2.9	2.5	3.9	2.8	10.9	2.3	5.4	5.5
4	5.3	2.3	3.8	2.7	3.0	1.9	2.7	1.1	4.5	2.3	4.8	6.0
5	5.1	3.3	4.4	2.1	2.2	2.1	3.7	3.2	1.8	3.0	4.7	4.5
6	3.8	4.8	3.1	2.8	3.0	2.7	1.8	2.1	2.3	4.1	5.3	4.2
7	3.1	5.4	2.9	4.2	2.2	3.6	1.3	5.6	2.2	3.2	6.0	3.0
8	2.9	3.9	3.2	3.1	3.4	1.8	2.0	1.8	7.2	3.0	5.1	4.4
9	4.8	2.8	2.8	3.1	2.7	5.4	2.1	1.9	8.3	2.2	3.4	3.4
10	5.0	3.0	3.3	2.8	1.6	1.7	2.5	2.3	4.8	2.2	5.4	4.0
11	5.3	4.4	4.7	2.9	2.7	2.1	2.1	1.9	2.4	1.9	4.2	4.7
12	6.0	2.4	4.0	2.6	2.3	3.0	4.6	7.4	2.4	3.5	4.9	5.6
13	6.8	2.5	2.5	3.3	2.2	2.7	2.8	10.8	3.2	3.7	4.9	4.1
14	3.0	3.7	1.8	4.0	1.7	1.6	1.6	4.9	2.0	1.9	4.0	5.4
15	3.1	4.0	2.3	2.3	1.8	2.3	1.6	2.9	1.7	2.5	2.5	3.7
16	2.7	2.8	3.0	7.7	2.4	1.2	3.8	2.9	2.2	2.7	4.9	3.4
17	2.3	4.0	4.0	6.2	3.0	2.7	3.6	2.3	1.8	4.9	3.3	2.1
18	2.9	4.9	4.5	4.3	2.2	1.3	1.3	2.6	1.6	3.3	4.5	2.9
19	3.8	3.9	3.6	2.1	1.4	2.4	4.4	3.1	3.6	3.4	4.7	4.4
20	2.1	3.6	2.9	3.4	3.3	4.9	1.0	2.6	3.6	2.4	2.9	4.7
21	2.9	3.2	3.1	1.6	3.0	6.3	3.4	1.3	3.1	3.8	3.9	4.3
22	5.2	2.8	2.4	1.7	1.6	5.8	3.1	2.0	3.8	4.0	5.4	2.9
23	3.5	3.8	3.8	1.8	2.4	2.1	7.1	2.7	4.3	2.5	6.0	5.4
24	3.6	4.2	3.6	2.3	1.9	2.8	1.9	2.7	3.7	6.1	4.7	3.2
25	3.5	4.6	4.4	1.9	1.8	1.2	2.2	2.3	4.5	4.9	3.2	3.9
26	3.4	3.5	3.9	2.5	1.7	1.8	3.1	3.0	2.2	1.7	3.5	2.5
27	3.9	5.0	2.1	2.7	1.9	3.1	2.9	2.4	3.7	4.1	4.1	2.4
28	4.4	4.7	1.9	1.9	1.5	2.8	1.7	-	2.7	2.8	3.0	3.3
29	4.5		2.3	3.3	1.7	2.8	1.6	2.9	1.1	2.6	2.4	3.6
30	4.5		1.9	5.0	5.7	5.4	1.2	2.9	2.7	2.3	2.5	2.8
31	4.3		4.0		2.3		3.1	3.2		4.0		4.3

2008	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	4.7	2.6	2.4	4.1	1.6	2.8	1.2	4.8	9.5	5.2	4.4	4.0
2	4.9	2.6	2.4	3.2	2.0	3.7	1.9	2.6	2.1	2.2	3.4	3.0
3	5.7	4.3	2.1	2.3	2.1	7.1	2.3	3.4	3.0	3.3	3.8	2.1
4	4.9	3.3	3.0	3.7	1.6	3.9	9.1	3.7	3.2	4.6	4.3	2.3
5	3.1	2.1	5.4	2.9	1.1	4.6	11.0	1.9	3.5	4.3	4.1	2.1
6	3.7	2.2	3.2	4.0	3.0	2.3	4.1	2.5	1.4	3.9	2.4	2.5
7	4.3	3.3	2.9	3.1	2.4	5.4	1.6	2.8	2.2	2.3	3.9	1.8
8	3.6	4.8	4.0	3.9	2.3	3.6	3.4	2.6	2.5	2.0	4.4	2.3
9	3.6	5.4	3.2	2.3	1.9	1.9	2.5	1.2	1.5	3.4	3.8	3.1
10	4.6	5.5	3.5	3.6	1.6	2.6	7.1	3.8	2.0	3.8	3.9	4.9
11	5.5	4.3	3.6	4.3	2.1	1.4	8.3	2.4	3.4	2.8	5.4	3.8
12	5.3	-	2.4	2.5	2.6	2.8	8.5	1.9	4.0	2.3	3.8	3.3
13	3.1	2.7	1.8	3.3	2.7	2.6	5.9	1.6	2.4	3.1	2.6	1.9
14	3.4	2.9	1.4	3.5	1.2	2.3	7.4	5.4	2.3	3.8	3.6	2.9
15	5.4	4.7	3.4	1.9	1.5	3.3	6.0	9.6	3.1	3.8	2.5	4.6
16	5.0	5.0	2.4	2.8	1.9	3.1	10.4	2.5	3.1	4.0	3.1	4.2
17	5.5	3.6	4.1	4.1	8.5	1.9	2.8	2.5	3.3	4.4	4.1	4.1
18	5.3	4.9	3.1	3.4	13.2	2.9	2.0	1.9	3.8	4.1	3.8	4.1
19	4.7	4.8	3.1	2.5	11.3	2.8	2.3	3.3	3.6	3.6	2.5	4.2
20	6.0	3.8	3.9	2.3	12.9	1.6	2.6	2.6	3.3	1.3	3.3	4.0
21	5.7	2.9	4.4	1.6	4.8	1.3	3.6	2.7	2.6	3.4	2.6	4.3
22	3.5	2.2	3.3	2.1	10.6	3.2	7.8	2.9	6.6	5.1	2.2	4.7
23	4.3	3.5	3.3	2.1	2.6	1.8	2.6	2.2	3.3	4.4	2.4	5.0
24	2.9	2.0	2.6	1.9	1.9	2.0	2.1	4.7	3.1	3.4	4.2	6.2
25	2.3	2.2	1.4	2.1	3.3	2.3	3.1	10.8	2.6	4.6	3.5	4.8
26	2.2	3.1	3.0	1.9	5.4	1.8	1.5	8.4	4.5	3.8	2.9	3.9
27	4.0	2.1	3.2	2.8	3.1	1.0	3.3	5.8	2.7	2.8	5.6	2.6
28	4.5	2.5	2.1	3.3	1.9	1.2	2.2	4.9	2.6	3.4	4.0	4.2
29	3.9	2.8	3.3	3.3	2.6	0.7	2.2	3.6	2.9	4.7	3.7	4.4
30	2.3		3.0	2.0	2.7	4.2	4.2	4.6	3.0	3.1	3.1	3.1
31	2.3		3.6		2.3		2.9	7.5		4.4		4.3

2009	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	3.3	3.4	2.5	2.3	1.4	2.6	4.2	2.2	2.9	3.4	3.8	3.4
2	4.4	3.1	2.3	5.0	4.2	2.1	3.8	1.5	2.1	4.5	3.6	4.5
3	5.4	2.9	2.5	3.8	4.6	1.0	3.6	4.2	2.5	3.0	2.7	4.7
4	3.9	2.3	3.6	2.1	3.3	1.1	7.6	8.4	3.4	5.0	4.1	4.1
5	5.4	3.9	4.2	1.5	3.6	3.0	4.2	3.1	6.0	4.1	2.1	5.1
6	4.9	5.9	3.6	3.6	2.7	2.1	5.8	2.9	6.5	5.0	4.7	3.6
7	4.9	4.3	4.0	4.8	1.7	2.5	3.6	2.5	2.9	2.2	4.3	2.7
8	4.9	5.4	4.0	3.5	1.7	2.6	2.6	3.0	3.8	1.6	3.1	2.8
9	4.8	4.1	2.8	2.9	7.4	2.9	1.6	1.7	3.6	1.9	4.1	4.1
10	5.1	2.7	3.8	2.4	7.1	2.5	2.5	1.5	3.6	4.8	5.7	3.6
11	6.1	4.8	3.1	2.2	3.9	2.6	2.6	1.0	2.4	2.7	4.9	3.9
12	4.7	5.3	4.6	1.4	3.0	3.1	2.8	6.0	3.0	3.2	4.5	4.3
13	4.9	6.6	4.1	2.0	2.2	6.0	3.3	2.1	3.3	4.7	4.7	5.4
14	4.9	7.2	4.8	2.2	1.9	3.1	3.3	10.4	4.3	3.2	4.3	5.2
15	4.2	5.0	4.0	2.8	1.6	1.5	2.2	2.9	4.0	2.5	4.8	3.3
16	5.3	3.7	4.2	3.1	5.4	3.1	2.3	2.1	4.1	2.3	3.6	3.3
17	5.1	3.8	4.7	3.3	2.6	7.2	4.7	2.5	2.7	2.8	2.0	4.5
18	4.6	3.6	3.8	3.9	2.6	7.7	4.9	4.4	3.0	3.6	4.1	4.6
19	4.3	2.8	3.9	3.4	1.4	6.2	2.7	3.6	3.8	4.5	3.7	4.8
20	3.0	5.1	3.9	3.7	5.7	1.8	2.4	1.8	4.3	4.4	3.1	4.8
21	3.0	3.7	4.5	2.5	3.8	2.4	3.3	3.5	4.1	2.0	3.1	4.0
22	3.7	5.0	4.8	2.6	6.1	2.4	1.9	2.8	4.5	7.3	3.3	3.3
23	2.8	5.4	2.8	3.3	3.8	2.8	2.6	5.3	3.9	5.8	3.4	3.0
24	5.4	3.7	2.3	3.1	3.3	2.6	3.3	6.5	3.5	3.1	5.4	1.8
25	5.8	3.0	3.1	3.7	2.3	2.7	2.5	2.3	4.0	3.8	3.3	3.3
26	5.3	3.6	4.5	3.3	2.7	3.3	2.5	1.9	4.1	3.6	3.6	3.1
27	5.0	3.7	3.1	1.9	2.8	4.7	1.8	2.8	4.6	2.1	5.0	2.5
28	4.8	2.4	3.4	2.1	1.7	6.7	2.9	2.0	4.8	2.8	5.4	4.0
29	4.1		3.5	1.7	1.6	4.4	3.0	5.7	2.3	1.9	4.1	2.6
30	4.0		3.3	1.8	2.2	5.7	1.9	1.9	3.6	2.9	4.4	1.9
31	4.0		3.9		1.3		3.5	2.7		2.7		3.9

2010	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	4.1	5.3	2.4	2.9	2.8	1.2	5.4	2.8	2.5	4.1	4.9	3.4
2	4.4	4.3	-	4.4	1.1	2.3	2.9	3.3	1.8	4.2	4.2	2.4
3	4.2	3.9	2.1	3.8	2.1	2.8	3.0	6.6	1.2	3.1	4.6	3.6
4	3.0	4.6	2.6	3.3	1.6	2.9	9.3	3.4	3.6	1.5	4.5	4.7
5	4.5	2.8	2.5	3.4	5.0	2.3	3.6	3.3	3.3	1.3	4.3	3.2
6	5.3	6.8	2.7	1.9	2.9	2.2	9.3	2.2	1.6	1.6	2.7	2.7
7	4.3	4.6	2.3	1.8	2.8	2.4	5.9	1.7	3.3	3.6	6.0	3.1
8	4.9	3.0	3.8	1.6	2.8	3.0	5.4	3.2	2.6	5.2	4.1	4.3
9	6.6	4.7	4.5	1.6	2.4	4.3	2.2	3.0	3.0	3.5	4.9	4.1
10	4.3	4.5	2.9	1.6	1.5	4.5	2.2	2.5	3.2	3.9	5.3	5.6
11	3.8	3.3	2.2	3.6	2.3	8.5	4.0	1.9	2.2	3.3	3.9	4.7
12	3.6	2.7	1.8	4.2	2.3	6.7	2.5	2.1	2.4	2.5	4.1	4.3
13	5.4	4.3	2.9	3.3	2.2	8.4	1.9	2.8	3.2	2.1	4.5	5.4
14	4.7	4.3	3.9	3.6	1.9	9.0	2.2	2.4	3.3	3.3	5.4	3.8
15	3.1	3.7	3.9	2.3	2.7	2.7	7.9	3.4	2.7	3.6	5.2	3.3
16	4.1	3.0	4.7	3.1	1.8	2.3	7.5	12.6	3.7	3.8	5.7	2.2
17	4.4	5.4	3.8	1.4	1.6	7.0	2.6	11.7	2.9	4.2	4.7	3.4
18	4.0	5.1	2.1	1.6	2.3	3.7	2.9	4.7	1.9	1.8	3.8	4.2
19	4.0	3.5	2.7	1.6	2.3	2.5	6.5	2.9	2.6	1.5	5.7	4.4
20	5.2	3.9	2.1	2.5	1.9	2.3	3.3	3.0	2.0	3.7	4.9	4.5
21	6.3	4.7	2.9	3.2	1.4	7.3	2.3	1.8	2.3	2.9	3.6	4.8
22	6.0	4.1	3.0	3.0	1.9	7.9	2.9	2.6	5.7	2.9	3.9	4.0
23	5.4	4.1	2.1	2.2	2.1	6.4	8.2	1.3	2.5	2.4	4.5	2.2
24	5.2	3.7	3.3	2.3	1.6	3.1	4.8	2.1	3.2	3.3	4.3	1.8
25	3.2	4.6	2.8	1.8	2.9	2.3	2.0	6.2	2.0	2.3	4.9	4.2
26	4.2	1.8	3.2	1.8	1.9	1.9	1.9	7.6	4.6	3.6	5.4	4.5
27	6.4	1.4	3.5	1.4	2.1	2.1	3.1	5.1	4.5	5.7	4.9	4.6
28	5.3	-	4.7	2.8	1.3	2.4	2.3	7.0	3.8	5.6	4.8	2.8
29	5.3		4.0	2.9	2.2	2.8	2.9	3.9	4.3	3.5	4.9	2.9
30	4.7		4.9	4.5	2.6	2.3	1.6	3.6	4.8	2.5	4.5	2.7
31	5.1		3.3		2.4		1.6	3.5		4.7		1.9

2011	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	2.5	4.0	3.1	5.7	3.0	3.6	2.7	1.9	2.6	3.3	2.7	4.7
2	2.9	2.1	2.1	3.8	3.1	2.6	2.0	3.6	7.9	4.0	3.1	3.3
3	3.6	5.1	3.9	4.5	2.5	1.6	2.8	2.2	3.4	2.4	3.9	4.0
4	4.4	5.5	3.8	3.9	4.1	3.8	2.4	3.5	2.5	2.2	4.5	3.7
5	5.6	5.2	3.4	4.2	4.3	2.7	1.9	5.5	2.0	2.0	4.3	4.6
6	4.3	3.4	1.6	2.4	1.6	3.8	2.6	5.9	2.8	3.7	3.8	3.7
7	2.8	2.3	2.7	3.3	1.8	9.5	2.6	1.7	2.6	3.3	3.1	2.8
8	4.5	3.3	2.7	2.7	3.1	5.4	2.9	4.2	4.6	2.3	4.1	3.8
9	3.6	2.1	2.2	5.2	1.9	2.8	3.3	9.2	7.6	3.6	4.4	4.2
10	3.8	3.0	2.4	1.8	2.7	3.5	3.9	4.2	2.9	3.3	4.7	5.1
11	3.6	2.9	4.3	1.6	2.6	2.6	7.2	6.7	2.4	4.0	3.9	5.3
12	5.1	5.4	3.1	5.6	2.3	3.3	2.8	2.7	3.1	4.4	4.1	4.7
13	4.2	4.3	3.8	5.4	1.9	2.9	3.8	2.3	3.8	3.1	2.7	3.0
14	3.3	4.0	1.9	2.9	1.1	1.6	7.8	1.8	3.7	2.3	3.6	3.0
15	4.2	4.0	2.5	2.8	1.2	1.7	4.0	2.9	6.4	2.7	4.0	3.3
16	3.4	3.3	3.6	2.7	2.2	3.5	3.3	6.8	4.5	3.7	4.3	3.2
17	4.7	3.4	2.8	3.1	2.2	7.1	1.9	5.6	4.2	2.4	2.6	2.7
18	3.4	2.7	4.3	2.7	2.2	7.6	2.4	2.7	2.6	2.8	3.0	5.6
19	3.7	4.7	2.9	1.6	5.9	4.8	2.1	2.5	3.6	3.4	2.0	4.7
20	5.0	3.6	3.8	1.4	1.9	5.8	2.7	2.9	3.0	4.7	3.8	2.9
21	5.4	1.6	2.9	6.6	1.1	2.2	4.7	2.4	2.9	5.1	2.4	4.2
22	5.9	3.6	3.3	3.8	2.4	1.5	3.0	2.4	2.4	3.8	3.3	5.6
23	3.6	5.3	4.1	2.9	2.3	1.6	2.6	2.6	1.9	3.9	4.3	6.6
24	2.1	4.0	3.7	3.0	2.6	3.1	4.4	2.5	2.1	4.3	2.8	4.8
25	2.4	3.3	3.2	3.2	2.9	3.0	3.8	1.8	3.3	4.4	5.1	3.6
26	2.1	1.5	3.0	2.0	1.3	3.9	2.4	6.1	2.8	2.9	3.4	1.9
27	5.1	2.3	3.8	2.6	1.2	3.4	4.0	4.7	1.0	2.9	3.8	2.9
28	4.9	2.1	3.4	3.4	1.9	2.6	2.3	7.9	3.5	3.6	3.9	3.1
29	4.0		3.6	3.3	1.8	6.5	1.9	4.9	3.1	4.5	5.1	2.8
30	2.2		3.5	2.6	2.5	1.9	1.8	2.6	3.9	3.3	3.8	4.5
31	4.7		3.6		2.7		2.7	2.8		3.3		3.4



2012	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	4.0	6.2	3.4	4.1	2.0	2.9	5.3	7.8	3.0	2.6	4.4	2.8
2	3.9	4.4	2.9	2.6	1.8	3.2	2.6	6.6	3.4	2.3	5.1	4.5
3	2.6	5.2	2.1	2.9	2.4	3.0	1.8	2.9	3.5	2.6	4.1	2.1
4	3.5	2.6	2.0	4.0	1.6	2.3	3.1	2.2	2.8	4.6	4.2	2.2
5	3.1	5.6	2.9	3.8	4.6	3.0	1.5	1.1	2.2	2.6	4.3	4.7
6	3.2	4.8	3.6	2.6	7.9	3.0	2.2	2.0	4.5	1.9	4.5	5.2
7	4.4	6.1	4.1	3.3	2.9	3.6	1.7	2.1	2.6	2.7	3.3	3.8
8	6.3	5.0	2.8	3.4	1.9	2.4	2.0	2.8	3.6	2.7	4.5	4.2
9	6.4	4.5	3.8	2.6	1.3	1.9	2.7	2.5	2.1	3.8	3.7	3.4
10	3.1	4.4	2.8	1.9	1.5	2.9	3.7	2.4	1.9	4.4	2.4	4.5
11	5.6	4.6	2.1	2.5	2.9	2.5	1.5	2.0	3.3	2.5	3.0	4.3
12	3.8	4.3	3.8	2.4	2.0	10.6	2.6	3.8	3.9	2.3	3.8	3.0
13	4.8	2.8	4.4	2.4	2.2	5.8	3.3	2.1	3.0	1.9	2.6	3.4
14	4.7	1.9	4.6	3.4	1.3	3.1	2.6	6.0	3.1	2.2	2.3	2.8
15	1.9	3.6	4.0	2.3	5.4	4.9	1.8	8.5	3.7	2.9	3.7	2.2
16	2.2	3.2	3.2	3.2	1.4	3.6	2.5	9.9	2.1	3.9	2.3	3.5
17	4.3	5.0	3.0	3.0	2.0	3.8	3.6	3.6	2.1	2.4	2.3	2.7
18	3.9	4.4	3.3	3.3	2.2	3.1	3.8	2.4	2.9	1.9	3.7	6.9
19	3.3	3.2	3.3	3.4	5.4	2.7	2.4	3.1	2.9	3.5	4.4	3.3
20	2.8	4.6	1.6	3.3	2.7	6.0	3.2	2.4	2.3	3.1	3.8	2.6
21	2.1	4.0	4.6	2.7	2.1	2.1	1.9	4.6	3.3	2.8	5.4	2.4
22	1.9	5.1	4.2	1.9	2.3	4.0	1.1	2.9	3.8	3.3	5.4	2.3
23	2.4	2.8	3.3	1.8	2.3	1.9	1.9	1.9	2.4	3.3	4.8	5.6
24	4.8	4.6	4.2	1.9	2.5	1.9	3.6	2.8	2.1	4.4	5.8	8.0
25	4.3	5.3	4.3	1.3	5.6	2.7	3.3	3.6	2.1	4.2	4.6	3.3
26	3.8	2.7	4.1	1.6	12.3	3.6	3.4	3.1	2.4	2.4	3.7	5.8
27	4.6	2.4	5.3	1.2	7.3	7.1	2.5	2.2	1.8	3.4	3.5	4.3
28	2.7	4.0	3.7	3.8	8.1	2.4	2.7	2.2	2.2	4.9	5.4	5.2
29	2.8	2.6	3.6	2.2	2.1	4.4	4.0	2.9	2.4	3.3	3.7	4.8
30	4.3		2.3	1.8	2.6	2.6	3.0	2.8	1.0	5.0	2.5	5.6
31	4.6		3.0		1.9		5.2	2.6		2.7		4.6

2013	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	3.0	3.0	2.8	2.2	7.8	5.4	1.9	1.1	1.9	2.7	4.3	3.8
2	3.6	3.9	4.7	2.5	5.6	1.9	8.3	2.1	1.2	3.8	4.1	5.4
3	2.7	4.3	2.6	2.9	8.6	2.7	3.5	5.0	1.9	2.0	4.3	5.4
4	2.1	3.6	3.6	3.8	2.1	3.4	1.7	6.8	3.9	3.1	3.6	5.6
5	3.3	3.6	4.9	3.1	3.3	3.4	1.4	2.5	7.0	4.0	2.6	4.3
6	4.4	2.9	3.4	3.3	2.9	2.9	2.5	4.2	4.3	2.8	4.6	3.9
7	4.2	3.3	3.5	3.5	3.3	3.0	2.7	5.0	5.6	2.9	3.0	2.8
8	4.9	2.5	2.6	2.8	1.9	2.5	3.3	2.6	3.7	2.2	2.5	3.6
9	5.0	3.4	2.1	3.4	4.3	2.7	8.9	2.8	4.6	3.8	2.8	3.7
10	3.7	5.1	3.9	3.4	6.9	2.4	7.5	2.0	3.7	4.4	2.5	4.4
11	3.8	2.5	3.8	3.6	2.4	2.7	3.9	4.0	2.1	4.2	3.0	7.1
12	4.2	2.7	4.3	3.0	3.0	2.5	1.9	2.9	3.0	4.4	2.5	4.6
13	3.6	2.7	3.3	2.8	2.9	3.3	3.1	3.0	4.2	4.3	2.7	4.7
14	2.7	2.4	3.3	3.1	2.6	2.5	1.6	3.3	2.8	4.7	5.0	3.2
15	2.2	2.5	3.3	2.5	4.2	3.7	2.8	3.0	2.3	3.8	4.5	3.3
16	2.3	5.9	2.6	1.6	2.4	2.9	3.3	3.8	1.9	2.7	4.3	3.0
17	3.6	4.4	2.4	2.2	1.6	1.8	2.3	3.1	3.3	2.3	2.6	2.2
18	2.9	4.5	2.5	2.0	1.6	3.6	2.7	2.3	3.0	3.7	4.1	3.0
19	3.9	3.9	2.6	2.8	2.0	2.2	2.4	5.3	3.4	4.1	3.7	2.5
20	2.6	3.4	2.8	5.7	1.9	1.6	2.5	3.3	2.7	5.4	4.3	2.5
21	1.9	4.2	3.4	4.3	1.6	3.3	4.0	3.7	3.4	4.1	3.3	4.3
22	2.6	3.9	3.5	2.5	1.6	4.0	2.4	4.6	3.4	3.6	4.2	4.1
23	3.1	2.9	3.0	2.4	1.0	2.4	2.6	3.9	6.4	4.2	3.3	2.8
24	3.9	4.6	2.3	2.9	2.8	2.6	3.1	3.1	3.3	3.3	5.3	4.6
25	4.0	4.4	3.4	1.3	1.9	2.1	3.0	2.5	3.8	3.1	4.5	2.7
26	2.8	3.6	3.9	3.0	4.3	5.1	2.9	1.6	4.2	3.9	2.8	3.4
27	2.1	3.6	4.0	1.0	9.9	10.1	2.5	1.5	4.9	2.7	4.2	4.1
28	3.1	4.4	2.3	2.1	4.3	4.1	2.3	4.2	3.7	4.0	4.0	5.1
29	3.2		2.7	1.3	2.5	1.7	2.6	3.3	4.0	1.6	3.9	4.2
30	2.7		2.6	3.6	3.4	2.6	4.3	1.9	2.1	2.9	4.2	4.0
31	2.6		2.9		5.6		2.3	3.6		6.7		4.6

2014	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	4.5	5.0	3.8	2.0	7.7	5.0	7.0	6.5	8.8	3.1	4.3	4.9
2	5.7	2.7	2.8	2.8	2.6	8.1	3.9	7.5	6.5	1.9	3.6	3.4
3	5.8	2.4	2.7	2.6	4.0	7.9	3.8	5.6	7.7	2.2	3.2	3.9
4	6.4	3.3	3.7	1.6	4.5	3.9	5.1	2.6	2.7	3.6	3.6	3.0
5	4.4	5.4	4.5	2.3	1.3	2.5	1.6	7.4	6.4	3.0	2.8	2.7
6	4.6	4.9	4.5	2.5	1.8	6.3	2.2	2.9	4.7	3.9	2.5	3.4
7	6.3	3.6	4.5	2.8	3.0	4.8	3.4	4.7	6.2	4.6	3.5	4.1
8	4.5	3.0	4.2	2.0	2.9	7.7	2.5	3.4	4.9	5.6	5.2	4.7
9	2.9	3.6	4.8	2.4	2.3	2.0	2.8	3.6	2.6	3.4	4.7	5.4
10	4.8	3.5	4.8	3.1	3.3	7.0	3.6	3.4	2.4	4.3	4.4	4.0
11	4.1	4.1	3.3	3.5	1.6	4.8	2.9	2.6	2.2	4.4	4.9	3.6
12	3.4	5.9	4.2	3.4	0.9	1.7	1.6	3.2	3.0	4.4	5.1	4.7
13	3.1	3.8	3.9	3.4	2.8	2.6	0.8	3.2	2.6	4.0	5.1	3.6
14	6.4	3.4	4.1	4.9	3.9	6.9	8.5	4.1	1.9	2.5	6.1	3.0
15	5.0	3.3	2.7	4.6	1.4	4.2	4.5	3.8	4.1	3.7	4.4	2.8
16	3.6	2.1	4.4	4.6	3.1	3.1	7.4	1.9	3.4	3.0	2.4	3.4
17	3.2	2.6	3.8	4.2	3.0	3.2	2.4	2.2	1.6	5.3	3.3	5.0
18	2.2	3.4	2.3	2.6	3.4	3.3	3.1	3.1	2.2	3.6	3.6	5.2
19	2.4	5.5	3.4	3.1	3.6	3.3	3.0	3.8	3.0	2.2	4.5	4.2
20	3.4	5.1	4.3	3.4	3.7	4.3	1.8	2.1	1.9	2.2	4.0	5.0
21	4.6	5.0	5.1	3.3	3.5	6.2	4.3	1.9	2.9	4.1	3.9	5.2
22	3.8	4.1	3.3	3.5	3.3	4.8	3.2	4.6	2.1	4.4	4.0	5.4
23	6.0	4.0	2.3	2.9	3.0	1.8	2.6	4.3	5.5	2.8	3.9	5.3
24	5.2	4.0	4.0	2.3	2.7	1.8	2.1	4.0	5.8	2.5	3.3	6.2
25	2.5	2.8	3.4	2.4	2.6	1.6	2.5	2.8	4.2	2.8	3.8	4.7
26	3.6	2.6	5.4	5.0	1.6	1.8	1.2	2.5	2.5	2.7	5.0	4.0
27	3.0	3.8	2.0	3.0	2.2	2.2	8.7	4.1	5.2	2.3	4.7	4.3
28	4.1	3.1	2.2	2.4	6.0	1.3	8.5	2.3	3.3	4.2	3.0	3.5
29	4.6		5.6	2.1	9.2	2.8	5.8	4.0	1.9	6.2	5.8	3.9
30	5.0		2.2	3.8	2.3	2.3	3.1	6.7	2.7	3.1	5.0	2.2
31	4.3		3.1		3.6		7.8	3.9		5.1		-

2015	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	4.9	4.9	2.2	2.5	1.9	7.6	2.1	7.8	3.4	4.6	2.3	4.9
2	4.2	4.8	2.9	1.8	2.4	8.1	1.9	4.2	3.2	2.5	2.2	4.1
3	4.3	4.6	3.4	2.1	2.5	1.6	3.0	2.2	3.4	2.4	1.9	2.4
4	3.7	4.5	4.7	2.5	2.9	3.8	2.3	2.0	2.9	6.9	2.3	4.6
5	3.5	4.0	4.2	2.5	2.9	6.6	6.0	8.2	3.0	2.5	2.4	3.4
6	4.1	3.3	3.6	1.6	2.5	5.1	5.3	5.6	5.8	2.9	2.1	5.0
7	3.4	3.8	1.9	3.8	2.5	2.1	2.6	2.5	6.5	2.4	3.8	6.0
8	3.6	5.1	4.3	1.4	6.8	3.6	8.3	6.6	3.3	3.3	3.6	6.0
9	5.6	4.8	2.9	3.4	5.6	1.8	1.3	7.1	3.0	3.5	3.0	5.4
10	5.8	4.5	4.5	3.3	2.4	1.4	1.3	1.9	2.7	3.7	3.6	5.4
11	5.9	4.2	5.3	2.8	2.1	2.3	1.9	3.0	4.0	3.0	5.4	4.6
12	7.0	5.9	4.9	1.7	1.9	1.5	6.3	1.4	3.6	4.0	2.8	4.4
13	5.9	4.2	4.7	1.7	2.2	2.9	3.0	2.7	2.8	6.4	4.1	4.8
14	5.3	4.3	4.3	3.3	1.9	2.0	1.9	2.4	2.7	3.4	5.3	4.1
15	3.8	4.5	4.1	2.7	1.0	2.4	6.0	4.4	1.9	2.3	5.0	4.6
16	4.0	4.9	3.2	1.9	2.4	1.9	2.7	4.3	2.6	3.0	3.1	5.0
17	4.5	5.8	3.1	3.0	5.3	2.1	5.3	2.5	3.0	2.7	4.6	-
18	3.7	7.3	2.8	3.5	1.9	3.5	2.6	1.7	3.8	2.2	4.1	-
19	3.1	4.1	2.8	2.4	1.9	1.6	3.1	2.7	3.4	3.4	2.9	-
20	4.2	2.9	3.6	3.6	9.6	2.5	2.5	2.0	2.0	2.3	4.7	-
21	2.7	2.1	4.1	2.8	3.4	3.2	1.9	6.8	4.0	2.6	3.5	3.0
22	4.8	2.1	2.8	2.6	1.3	2.6	2.3	6.4	2.2	3.0	2.9	3.2
23	4.4	2.3	2.1	2.7	1.9	3.6	1.9	1.9	3.6	2.9	2.1	3.9
24	4.2	3.8	0.8	3.0	3.1	4.7	1.8	3.0	2.6	3.3	3.6	4.8
25	3.6	2.5	2.6	2.5	1.9	3.8	6.4	9.4	3.9	4.8	2.4	4.0
26	4.3	3.3	3.4	1.6	1.9	2.6	9.1	5.1	3.0	3.1	1.9	3.5
27	5.7	2.1	1.7	2.0	2.2	3.3	7.6	2.6	4.4	2.9	4.6	3.9
28	4.7	2.3	2.6	2.0	2.8	2.5	4.3	7.7	3.0	4.6	5.7	4.2
29	3.2		3.5	2.4	2.5	2.2	2.6	2.9	1.3	4.5	5.1	2.3
30	3.6		5.0	2.7	2.5	2.1	3.5	1.6	3.5	5.9	5.1	1.9
31	3.8		4.3		6.3		5.7	3.6		5.4		-

- **ANEXO 3:** Rapidez del viento diaria para Concepción a 30m de altura. 2005 – 2015.

Las siguientes tablas fueron elaboradas a partir del ANEXO 2, extrapolando las rapidezces de 12m a 30m de altura por diseño.

En las tablas aparecen campos sin valores con el símbolo (-), esto indica que no se ha realizado la extrapolación en ese día, ya que no ha habido datos del ANEXO 2 para incluirla.

2005	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	5.1	5.8	1.7	4.4	3.0	5.5	10.4	8.4	1.4	2.4	5.6	3.8
2	6.6	5.1	3.0	3.8	4.1	3.4	11.0	3.7	2.5	3.7	5.1	3.9
3	5.8	3.4	3.3	3.8	8.2	3.8	3.1	8.2	3.4	4.1	5.9	4.2
4	5.6	2.1	4.8	2.2	3.5	6.2	2.5	2.1	1.9	2.6	5.8	4.7
5	5.5	3.7	4.0	2.1	3.3	3.0	2.7	1.5	2.9	4.6	5.4	4.7
6	6.1	2.8	4.3	3.3	1.7	5.8	4.0	3.4	2.0	4.0	2.7	5.9
7	5.0	3.4	3.1	4.3	2.2	4.4	8.8	3.8	3.8	4.1	-	5.1
8	5.6	4.6	5.0	3.8	2.4	2.7	2.2	2.8	3.9	4.9	-	4.5
9	6.2	3.6	4.5	4.0	8.0	5.1	2.2	1.3	4.7	4.1	-	6.4
10	5.6	4.2	4.0	2.3	4.0	1.3	2.3	2.1	5.8	2.3	-	4.6
11	5.5	2.6	4.2	3.8	3.3	3.4	2.1	2.6	4.2	6.7	-	6.5
12	6.7	2.0	1.8	2.5	4.7	2.1	6.3	3.7	8.4	3.8	-	6.2
13	4.8	2.2	2.5	3.1	0.9	3.0	6.1	2.2	5.6	5.0	-	5.6
14	6.7	2.6	3.8	2.4	2.6	2.9	2.6	2.9	2.8	3.9	-	4.6
15	5.4	3.1	6.6	3.5	2.9	3.3	2.1	6.0	2.9	4.3	-	4.3
16	3.9	3.4	2.9	2.8	9.5	2.3	1.5	10.0	3.4	4.1	-	4.2
17	3.1	3.5	4.3	3.1	5.2	2.2	2.5	2.9	1.9	4.6	-	6.8
18	4.6	4.0	4.7	3.2	7.9	5.1	2.6	1.7	2.5	5.2	-	7.2
19	5.9	5.3	2.9	3.3	3.9	1.4	2.1	3.8	2.9	5.8	-	6.7
20	4.8	3.7	4.3	3.3	1.4	1.7	2.5	9.8	4.0	5.8	-	5.4
21	4.8	3.4	5.7	2.8	2.0	7.8	3.5	6.5	2.9	5.4	-	4.3
22	5.0	4.6	3.0	2.9	5.6	2.2	4.0	1.5	3.0	6.0	-	1.9
23	4.5	4.1	3.9	2.8	11.2	1.3	2.1	2.3	0.9	4.3	-	3.7
24	5.9	4.2	4.4	4.6	2.5	1.5	1.3	2.7	3.6	3.1	-	3.4
25	4.0	5.0	4.2	3.8	6.8	3.8	2.7	3.4	3.2	5.3	-	3.4
26	3.3	3.9	3.5	1.5	4.2	10.2	1.1	8.2	2.5	4.6	-	3.9
27	5.1	3.4	4.2	1.4	8.2	4.9	1.8	4.4	3.9	2.9	-	2.1
28	5.0	2.6	2.9	2.4	10.2	2.2	3.7	5.9	3.5	5.1	-	3.8
29	5.6		4.1	2.3	3.1	7.1	10.4	3.4	3.8	5.6	-	5.5
30	6.0		2.7	1.5	2.0	8.4	6.9	3.6	3.8	4.7	-	4.4
31	5.2		4.0		1.6		3.8	1.8		5.4		3.7

2006	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	2.9	3.1	4.0	2.9	1.8	2.5	6.4	1.9	2.9	4.3	3.2	3.8
2	4.1	2.7	3.1	1.9	1.7	1.2	1.8	6.7	3.3	2.9	4.2	4.7
3	4.4	3.0	4.2	2.6	2.3	0.8	2.5	4.4	2.7	3.8	4.7	5.6
4	3.5	4.1	3.8	4.3	2.1	1.9	2.5	3.6	3.0	2.8	4.0	6.6
5	4.6	4.5	2.8	3.5	1.1	6.1	4.2	1.8	1.7	3.5	4.6	6.0
6	4.2	3.9	2.1	3.0	2.6	9.0	11.4	5.7	3.8	4.0	6.0	6.0
7	2.9	4.5	3.3	3.2	1.8	12.4	7.5	2.9	2.3	4.2	4.6	7.3
8	3.4	4.6	3.8	4.3	2.0	3.1	3.0	6.7	1.9	4.4	3.1	5.0
9	4.7	4.3	3.2	3.3	1.9	2.5	8.2	4.6	5.9	4.7	3.1	4.6
10	3.2	4.4	4.3	2.7	2.1	1.9	7.9	8.8	5.0	3.1	2.6	4.8
11	3.4	2.5	3.9	4.6	1.9	4.2	9.2	5.2	3.5	1.8	4.8	5.1
12	5.5	5.8	3.1	4.3	2.3	5.2	1.2	5.0	3.8	3.8	6.8	5.0
13	4.8	4.4	4.8	2.5	1.9	2.2	2.7	8.7	2.8	5.4	3.6	3.4
14	5.0	2.8	3.4	3.4	4.1	3.9	2.7	1.9	3.8	3.6	3.7	2.4
15	5.6	2.7	5.0	2.6	7.2	3.3	3.9	3.3	4.1	4.0	2.9	6.1
16	5.2	2.2	2.3	3.1	2.5	3.7	2.4	1.6	3.2	2.3	4.5	7.2
17	4.0	2.9	4.6	2.5	1.7	8.8	2.1	2.9	3.9	2.1	4.5	3.5
18	2.8	3.3	5.4	7.6	3.8	5.3	2.5	3.2	3.7	2.6	4.8	3.2
19	5.0	2.8	4.7	11.5	2.5	4.5	2.4	3.3	2.3	2.1	5.0	3.1
20	5.5	2.8	4.0	1.9	3.0	3.5	3.0	3.3	2.0	4.3	7.4	5.2
21	2.8	3.3	3.8	2.1	2.6	2.3	4.3	2.9	4.2	4.1	5.0	2.9
22	4.4	4.6	3.6	2.6	2.3	2.1	3.4	2.7	3.3	4.8	4.6	2.8
23	5.5	5.0	3.4	3.4	3.5	1.5	3.1	1.4	3.3	3.1	5.6	4.6
24	6.0	5.0	4.7	1.9	6.8	4.8	8.5	1.9	3.3	4.2	5.9	4.2
25	4.8	4.0	4.3	1.0	11.4	2.4	7.2	1.4	2.5	4.4	5.1	3.5
26	3.4	4.6	5.0	4.2	1.3	2.6	1.7	4.3	3.5	4.2	5.5	3.8
27	2.9	5.1	4.9	4.0	2.2	2.9	1.9	3.0	4.2	5.7	6.6	4.0
28	2.6	4.9	3.6	4.0	1.3	1.8	3.0	4.5	3.8	4.7	5.8	5.1
29	4.8		2.3	3.8	1.9	4.0	2.3	6.9	3.5	2.9	4.9	6.3
30	3.5		1.7	2.1	2.3	3.8	3.0	9.4	2.3	5.6	5.7	5.8
31	3.3		3.2		5.3		2.1	5.5		3.7		5.9

2007	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	7.0	4.0	5.2	2.4	8.7	1.9	1.9	3.7	2.6	2.3	5.2	5.3
2	5.2	3.2	4.9	2.4	6.0	2.3	2.5	6.4	4.5	1.6	5.8	5.5
3	5.0	3.4	2.5	3.2	3.2	2.8	4.3	3.1	12.1	2.6	6.0	6.1
4	5.8	2.6	4.2	3.0	3.4	2.1	3.0	1.3	5.0	2.6	5.3	6.7
5	5.6	3.6	4.9	2.3	2.4	2.3	4.1	3.5	2.0	3.4	5.2	5.0
6	4.2	5.4	3.5	3.1	3.4	3.0	1.9	2.3	2.6	4.5	5.8	4.6
7	3.5	5.9	3.3	4.7	2.4	4.0	1.5	6.2	2.4	3.5	6.7	3.4
8	3.3	4.3	3.5	3.5	3.8	1.9	2.2	2.0	8.0	3.3	5.7	4.8
9	5.4	3.1	3.1	3.5	3.0	6.0	2.3	2.1	9.2	2.4	3.8	3.8
10	5.6	3.3	3.7	3.1	1.7	1.9	2.8	2.5	5.4	2.4	5.9	4.4
11	5.8	4.8	5.2	3.3	3.0	2.3	2.3	2.1	2.6	2.1	4.7	5.2
12	6.7	2.7	4.4	2.9	2.5	3.4	5.1	8.2	2.6	3.9	5.4	6.2
13	7.5	2.7	2.8	3.7	2.4	3.0	3.1	11.9	3.5	4.1	5.4	4.5
14	3.4	4.1	2.0	4.4	1.9	1.7	1.7	5.4	2.2	2.1	4.4	6.0
15	3.5	4.4	2.6	2.6	2.0	2.5	1.8	3.3	1.9	2.7	2.8	4.1
16	3.0	3.1	3.3	8.5	2.7	1.3	4.2	3.3	2.4	3.0	5.4	3.8
17	2.5	4.4	4.4	6.8	3.3	3.0	4.0	2.6	1.9	5.5	3.7	2.3
18	3.3	5.4	5.0	4.8	2.5	1.5	1.4	2.9	1.7	3.7	5.0	3.3
19	4.2	4.3	4.0	2.3	1.6	2.6	4.8	3.4	4.0	3.8	5.2	4.9
20	2.3	3.9	3.3	3.8	3.6	5.5	1.1	2.9	3.9	2.6	3.3	5.2
21	3.3	3.5	3.5	1.7	3.4	7.0	3.8	1.4	3.5	4.2	4.3	4.8
22	5.8	3.1	2.7	1.9	1.8	6.4	3.4	2.2	4.2	4.4	5.9	3.2
23	3.9	4.2	4.2	2.0	2.6	2.3	7.9	3.0	4.7	2.7	6.7	6.0
24	4.0	4.7	4.0	2.6	2.1	3.1	2.1	3.0	4.1	6.7	5.2	3.5
25	3.9	5.1	4.9	2.1	2.0	1.4	2.5	2.5	5.0	5.4	3.5	4.3
26	3.8	3.9	4.3	2.7	1.9	2.0	3.5	3.3	2.4	1.9	3.9	2.7
27	4.3	5.6	2.3	3.0	2.1	3.4	3.2	2.7	4.1	4.5	4.5	2.7
28	4.8	5.2	2.1	2.1	1.7	3.1	1.9	-	3.0	3.1	3.4	3.6
29	5.0		2.6	3.7	1.9	3.1	1.7	3.3	1.3	2.9	2.7	3.9
30	5.0		2.2	5.6	6.3	6.0	1.4	3.2	3.0	2.6	2.8	3.1
31	4.8		4.4		2.5		3.5	3.5		4.4		4.8

2008	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	5.2	2.9	2.6	4.5	1.8	3.1	1.4	5.3	10.5	5.8	4.8	4.4
2	5.4	2.9	2.6	3.5	2.2	4.1	2.1	2.9	2.3	2.4	3.8	3.4
3	6.3	4.7	2.3	2.6	2.3	7.8	2.5	3.8	3.4	3.7	4.2	2.3
4	5.4	3.6	3.3	4.1	1.8	4.3	10.1	4.1	3.5	5.1	4.7	2.6
5	3.4	2.3	6.0	3.3	1.3	5.1	12.2	2.2	3.9	4.8	4.5	2.3
6	4.1	2.4	3.5	4.4	3.4	2.5	4.6	2.7	1.6	4.3	2.7	2.8
7	4.7	3.6	3.2	3.5	2.7	5.9	1.8	3.1	2.4	2.5	4.3	2.0
8	3.9	5.3	4.4	4.3	2.5	3.9	3.8	2.9	2.7	2.2	4.8	2.6
9	4.0	6.0	3.5	2.6	2.1	2.1	2.7	1.3	1.7	3.8	4.2	3.4
10	5.1	6.1	3.9	4.0	1.7	2.9	7.9	4.2	2.2	4.2	4.3	5.4
11	6.1	4.7	3.9	4.7	2.3	1.5	9.2	2.6	3.8	3.1	6.0	4.2
12	5.8	-	2.7	2.7	2.9	3.1	9.4	2.1	4.4	2.6	4.2	3.7
13	3.5	3.0	2.0	3.6	3.0	2.9	6.6	1.7	2.6	3.4	2.9	2.1
14	3.8	3.2	1.6	3.9	1.3	2.5	8.2	6.0	2.5	4.2	4.0	3.2
15	5.9	5.2	3.8	2.1	1.7	3.7	6.7	10.6	3.5	4.2	2.8	5.1
16	5.5	5.6	2.6	3.1	2.1	3.5	11.6	2.8	3.4	4.4	3.5	4.7
17	6.1	4.0	4.6	4.5	9.4	2.1	3.1	2.7	3.7	4.9	4.5	4.6
18	5.9	5.4	3.4	3.8	14.6	3.2	2.2	2.1	4.2	4.6	4.2	4.6
19	5.2	5.3	3.4	2.7	12.5	3.1	2.6	3.7	3.9	4.0	2.8	4.6
20	6.7	4.2	4.3	2.6	14.2	1.7	2.9	2.9	3.7	1.5	3.7	4.4
21	6.3	3.3	4.8	1.8	5.4	1.5	3.9	3.0	2.9	3.8	2.9	4.8
22	3.9	2.5	3.6	2.3	11.8	3.5	8.7	3.2	7.4	5.6	2.5	5.2
23	4.8	3.9	3.7	2.3	2.9	1.9	2.9	2.5	3.6	4.8	2.7	5.5
24	3.3	2.2	2.9	2.1	2.1	2.2	2.3	5.2	3.4	3.8	4.6	6.9
25	2.5	2.4	1.5	2.3	3.7	2.5	3.4	12.0	2.9	5.1	3.9	5.3
26	2.4	3.4	3.3	2.1	6.0	2.0	1.7	9.3	5.0	4.2	3.2	4.3
27	4.4	2.3	3.5	3.1	3.4	1.1	3.7	6.4	3.0	3.1	6.2	2.9
28	5.0	2.8	2.3	3.7	2.1	1.4	2.5	5.5	2.9	3.8	4.4	4.7
29	4.3	3.1	3.6	3.6	2.9	0.8	2.4	3.9	3.2	5.2	4.1	4.9
30	2.5		3.4	2.2	3.0	4.6	4.6	5.1	3.4	3.4	3.4	3.4
31	2.5		4.0		2.5		3.2	8.3		4.8		4.8

2009	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	3.7	3.8	2.7	2.5	1.6	2.9	4.6	2.5	3.2	3.8	4.2	3.8
2	4.9	3.5	2.6	5.6	4.6	2.3	4.2	1.7	2.3	5.0	4.0	5.0
3	6.0	3.3	2.7	4.2	5.1	1.1	4.0	4.7	2.7	3.4	3.0	5.2
4	4.3	2.6	4.0	2.3	3.6	1.3	8.4	9.3	3.8	5.5	4.5	4.6
5	6.0	4.3	4.7	1.7	4.0	3.3	4.7	3.5	6.6	4.6	2.3	5.6
6	5.4	6.6	3.9	3.9	3.0	2.3	6.4	3.2	7.2	5.5	5.2	3.9
7	5.4	4.8	4.4	5.4	1.9	2.7	4.0	2.7	3.3	2.4	4.7	3.0
8	5.5	6.0	4.4	3.9	1.9	2.9	2.9	3.3	4.2	1.8	3.5	3.1
9	5.4	4.5	3.1	3.3	8.2	3.2	1.8	1.9	4.0	2.1	4.6	4.5
10	5.7	3.0	4.2	2.7	7.9	2.8	2.8	1.7	4.0	5.4	6.3	3.9
11	6.8	5.4	3.4	2.5	4.3	2.9	2.9	1.1	2.6	3.0	5.5	4.3
12	5.2	5.8	5.1	1.6	3.4	3.5	3.1	6.7	3.3	3.5	5.0	4.8
13	5.4	7.3	4.6	2.2	2.5	6.6	3.6	2.3	3.7	5.2	5.2	6.0
14	5.5	8.0	5.3	2.4	2.1	3.4	3.7	11.5	4.8	3.5	4.8	5.8
15	4.7	5.6	4.4	3.1	1.8	1.7	2.5	3.2	4.4	2.8	5.3	3.7
16	5.8	4.1	4.7	3.5	6.0	3.4	2.6	2.3	4.5	2.6	3.9	3.6
17	5.7	4.2	5.2	3.7	2.9	8.0	5.2	2.8	3.0	3.1	2.2	5.0
18	5.1	4.0	4.2	4.3	2.9	8.6	5.4	4.8	3.3	4.0	4.5	5.1
19	4.7	3.1	4.3	3.8	1.6	6.9	3.0	4.0	4.2	5.0	4.1	5.3
20	3.3	5.6	4.3	4.1	6.3	2.0	2.6	1.9	4.8	4.8	3.5	5.4
21	3.3	4.1	5.0	2.8	4.2	2.6	3.7	3.9	4.6	2.2	3.5	4.4
22	4.1	5.5	5.3	2.9	6.7	2.7	2.1	3.1	5.0	8.1	3.6	3.7
23	3.1	6.0	3.1	3.7	4.2	3.1	2.9	5.8	4.3	6.4	3.8	3.3
24	5.9	4.1	2.6	3.5	3.7	2.9	3.6	7.2	3.9	3.5	6.0	1.9
25	6.4	3.4	3.4	4.1	2.6	3.0	2.7	2.6	4.4	4.2	3.6	3.7
26	5.8	4.0	5.0	3.7	3.0	3.6	2.7	2.1	4.6	3.9	4.0	3.4
27	5.5	4.1	3.4	2.1	3.1	5.2	1.9	3.1	5.1	2.3	5.5	2.7
28	5.3	2.7	3.8	2.3	1.9	7.4	3.3	2.2	5.4	3.1	6.0	4.4
29	4.6		3.9	1.9	1.8	4.9	3.3	6.3	2.5	2.1	4.6	2.9
30	4.4		3.6	1.9	2.4	6.3	2.2	2.1	3.9	3.3	4.8	2.2
31	4.4		4.3		1.5		3.9	3.0		3.0		4.3

2010	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	4.5	5.8	2.7	3.2	3.1	1.3	6.0	3.1	2.7	4.5	5.5	3.8
2	4.9	4.7	-	4.9	1.3	2.5	3.2	3.7	1.9	4.7	4.6	2.7
3	4.6	4.3	2.3	4.2	2.3	3.1	3.4	7.4	1.4	3.4	5.1	3.9
4	3.4	5.1	2.9	3.6	1.7	3.2	10.3	3.8	3.9	1.7	5.0	5.2
5	5.0	3.1	2.7	3.8	5.5	2.6	4.0	3.7	3.7	1.4	4.7	3.5
6	5.9	7.5	3.0	2.1	3.3	2.5	10.3	2.5	1.8	1.8	3.0	3.0
7	4.8	5.1	2.6	1.9	3.1	2.7	6.6	1.9	3.6	4.0	6.6	3.5
8	5.5	3.3	4.2	1.7	3.1	3.3	5.9	3.5	2.9	5.8	4.6	4.7
9	7.4	5.2	5.0	1.8	2.7	4.8	2.5	3.3	3.4	3.9	5.4	4.5
10	4.7	5.0	3.3	1.7	1.7	5.0	2.4	2.8	3.5	4.3	5.9	6.2
11	4.2	3.7	2.5	4.0	2.5	9.4	4.4	2.1	2.4	3.6	4.3	5.2
12	4.0	3.0	1.9	4.7	2.6	7.4	2.8	2.3	2.6	2.7	4.5	4.7
13	6.0	4.7	3.3	3.7	2.4	9.4	2.1	3.1	3.5	2.3	5.0	6.0
14	5.2	4.8	4.3	3.9	2.1	10.0	2.4	2.6	3.7	3.6	6.0	4.2
15	3.5	4.1	4.3	2.6	3.0	3.0	8.7	3.8	3.0	3.9	5.8	3.6
16	4.6	3.4	5.2	3.4	2.0	2.6	8.3	14.0	4.1	4.2	6.3	2.4
17	4.8	6.0	4.2	1.6	1.8	7.8	2.9	13.0	3.2	4.7	5.2	3.8
18	4.4	5.6	2.3	1.8	2.5	4.1	3.3	5.2	2.1	1.9	4.2	4.7
19	4.4	3.9	3.0	1.8	2.6	2.7	7.2	3.3	2.9	1.7	6.3	4.9
20	5.8	4.3	2.3	2.8	2.1	2.6	3.7	3.3	2.2	4.1	5.5	5.0
21	7.0	5.2	3.3	3.5	1.6	8.0	2.6	2.0	2.6	3.3	3.9	5.3
22	6.7	4.5	3.4	3.3	2.2	8.8	3.3	2.9	6.3	3.3	4.3	4.4
23	6.0	4.5	2.3	2.5	2.3	7.1	9.0	1.5	2.7	2.7	5.0	2.5
24	5.8	4.1	3.6	2.5	1.8	3.4	5.3	2.3	3.5	3.6	4.8	1.9
25	3.5	5.1	3.1	1.9	3.2	2.5	2.2	6.9	2.2	2.5	5.4	4.7
26	4.7	1.9	3.5	1.9	2.1	2.1	2.2	8.4	5.1	3.9	6.0	5.0
27	7.1	1.6	3.9	1.6	2.3	2.3	3.5	5.6	5.0	6.3	5.5	5.1
28	5.9	-	5.2	3.1	1.5	2.6	2.5	7.8	4.2	6.2	5.3	3.1
29	5.9	-	4.4	3.3	2.5	3.1	3.2	4.3	4.8	3.9	5.5	3.3
30	5.2	-	5.5	5.0	2.9	2.5	1.7	3.9	5.4	2.7	5.0	3.0
31	5.7	-	3.7	-	2.6	-	1.7	3.9	-	5.2	-	2.1

2011	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	2.8	4.4	3.5	6.3	3.3	3.9	3.0	2.2	2.9	3.6	3.0	5.2
2	3.3	2.3	2.3	4.2	3.5	2.9	2.2	4.0	8.8	4.4	3.5	3.6
3	4.0	5.6	4.3	5.0	2.7	1.8	3.1	2.5	3.8	2.6	4.3	4.4
4	4.9	6.1	4.2	4.3	4.6	4.2	2.7	3.9	2.7	2.5	5.0	4.1
5	6.2	5.8	3.8	4.7	4.8	3.0	2.2	6.1	2.2	2.2	4.7	5.1
6	4.7	3.8	1.8	2.6	1.7	4.2	2.9	6.6	3.1	4.1	4.2	4.1
7	3.1	2.5	3.0	3.6	1.9	10.6	2.9	1.9	2.9	3.7	3.5	3.1
8	5.0	3.7	3.0	3.0	3.4	5.9	3.2	4.7	5.1	2.6	4.6	4.2
9	4.0	2.3	2.4	5.8	2.1	3.1	3.6	10.2	8.4	3.9	4.8	4.6
10	4.2	3.4	2.6	2.0	3.0	3.9	4.3	4.6	3.2	3.7	5.2	5.6
11	4.0	3.3	4.7	1.8	2.9	2.9	8.0	7.4	2.7	4.4	4.3	5.9
12	5.6	6.0	3.5	6.2	2.6	3.6	3.1	3.0	3.5	4.9	4.5	5.2
13	4.6	4.7	4.2	5.9	2.1	3.2	4.2	2.6	4.2	3.5	3.0	3.4
14	3.7	4.4	2.1	3.3	1.3	1.7	8.7	1.9	4.1	2.5	3.9	3.3
15	4.7	4.4	2.8	3.1	1.3	1.9	4.4	3.2	7.1	3.0	4.4	3.7
16	3.8	3.7	4.0	3.0	2.5	3.9	3.6	7.5	5.0	4.1	4.8	3.5
17	5.2	3.8	3.1	3.5	2.5	7.8	2.1	6.2	4.6	2.6	2.9	3.0
18	3.8	3.0	4.8	3.0	2.4	8.4	2.7	3.0	2.9	3.1	3.4	6.2
19	4.1	5.2	3.2	1.8	6.5	5.3	2.3	2.8	4.0	3.8	2.2	5.2
20	5.5	4.0	4.2	1.6	2.1	6.4	3.0	3.3	3.4	5.2	4.2	3.2
21	5.9	1.8	3.2	7.3	1.2	2.5	5.2	2.7	3.2	5.6	2.7	4.7
22	6.5	4.0	3.7	4.2	2.7	1.7	3.3	2.6	2.7	4.2	3.7	6.2
23	3.9	5.8	4.6	3.2	2.6	1.8	2.9	2.9	2.2	4.3	4.8	7.4
24	2.3	4.4	4.1	3.4	2.9	3.5	4.9	2.7	2.3	4.8	3.1	5.4
25	2.6	3.7	3.5	3.5	3.2	3.4	4.2	2.0	3.7	4.9	5.6	4.0
26	2.3	1.7	3.4	2.2	1.4	4.3	2.7	6.8	3.1	3.3	3.8	2.1
27	5.7	2.6	4.2	2.9	1.4	3.8	4.4	5.2	1.1	3.3	4.2	3.2
28	5.4	2.3	3.8	3.8	2.2	2.9	2.6	8.7	3.9	4.0	4.3	3.5
29	4.4	-	4.0	3.6	1.9	7.2	2.1	5.5	3.4	5.0	5.6	3.1
30	2.5	-	3.9	2.9	2.8	2.1	1.9	2.9	4.3	3.7	4.2	5.0
31	5.2	-	4.0	-	3.0	-	3.0	3.1	-	3.7	-	3.8

2012	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	4.4	6.8	3.8	4.6	2.2	3.2	5.8	8.6	3.3	2.9	4.8	3.1
2	4.3	4.8	3.3	2.9	2.0	3.5	2.9	7.3	3.8	2.6	5.7	5.0
3	2.9	5.8	2.3	3.2	2.6	3.4	1.9	3.3	3.9	2.9	4.6	2.3
4	3.9	2.9	2.2	4.4	1.7	2.5	3.4	2.5	3.1	5.1	4.6	2.4
5	3.5	6.2	3.3	4.2	5.1	3.3	1.7	1.3	2.4	2.9	4.8	5.2
6	3.5	5.4	3.9	2.9	8.8	3.3	2.4	2.2	5.0	2.1	5.0	5.8
7	4.8	6.8	4.5	3.6	3.2	3.9	1.9	2.3	2.9	3.0	3.6	4.2
8	7.0	5.5	3.1	3.8	2.1	2.7	2.2	3.1	4.0	3.0	5.0	4.7
9	7.1	5.0	4.2	2.9	1.5	2.1	3.0	2.8	2.3	4.2	4.1	3.8
10	3.4	4.9	3.1	2.1	1.7	3.3	4.1	2.7	2.1	4.9	2.6	5.0
11	6.2	5.1	2.3	2.8	3.2	2.7	1.7	2.2	3.7	2.7	3.4	4.7
12	4.2	4.8	4.2	2.6	2.2	11.8	2.9	4.2	4.3	2.5	4.2	3.3
13	5.3	3.1	4.8	2.7	2.5	6.4	3.6	2.3	3.3	2.1	2.9	3.8
14	5.2	2.1	5.1	3.8	1.4	3.5	2.9	6.7	3.4	2.5	2.5	3.1
15	2.1	3.9	4.4	2.6	5.9	5.5	1.9	9.4	4.1	3.3	4.1	2.4
16	2.5	3.5	3.5	3.5	1.6	4.0	2.7	11.0	2.3	4.3	2.6	3.9
17	4.7	5.6	3.3	3.3	2.2	4.2	4.0	3.9	2.3	2.6	2.6	3.0
18	4.3	4.8	3.7	3.7	2.5	3.4	4.2	2.6	3.3	2.1	4.1	7.6
19	3.6	3.5	3.7	3.8	6.0	3.0	2.6	3.4	3.2	3.9	4.8	3.7
20	3.1	5.1	1.7	3.7	3.0	6.7	3.5	2.6	2.6	3.5	4.2	2.9
21	2.3	4.4	5.1	3.0	2.3	2.3	2.1	5.1	3.6	3.1	6.0	2.7
22	2.1	5.6	4.6	2.1	2.6	4.4	1.3	3.2	4.2	3.6	6.0	2.6
23	2.6	3.1	3.7	2.0	2.5	2.1	2.1	2.2	2.7	3.6	5.4	6.2
24	5.4	5.1	4.7	2.1	2.8	2.2	4.0	3.1	2.3	4.9	6.4	8.8
25	4.7	5.8	4.8	1.4	6.2	3.0	3.7	3.9	2.3	4.6	5.1	3.6
26	4.2	3.0	4.5	1.7	13.6	3.9	3.8	3.4	2.7	2.6	4.1	6.4
27	5.1	2.7	5.8	1.4	8.0	7.9	2.7	2.4	1.9	3.8	3.9	4.7
28	3.0	4.4	4.1	4.2	9.0	2.7	3.0	2.5	2.4	5.4	5.9	5.8
29	3.1	2.9	4.0	2.4	2.3	4.9	4.4	3.3	2.6	3.6	4.1	5.4
30	4.7		2.5	1.9	2.9	2.9	3.3	3.1	1.1	5.6	2.8	6.2
31	5.1		3.4		2.2		5.8	2.9		3.0		5.1

2013	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	3.3	3.3	3.1	2.4	8.7	6.0	2.2	1.3	2.1	3.0	4.7	4.2
2	3.9	4.3	5.2	2.7	6.2	2.1	9.2	2.3	1.3	4.2	4.5	6.0
3	3.0	4.8	2.9	3.2	9.6	3.0	3.9	5.5	2.2	2.2	4.8	6.0
4	2.3	4.0	4.0	4.2	2.3	3.8	1.9	7.5	4.3	3.5	3.9	6.2
5	3.7	4.0	5.4	3.5	3.6	3.8	1.5	2.8	7.8	4.4	2.9	4.8
6	4.9	3.2	3.8	3.7	3.3	3.2	2.7	4.7	4.8	3.1	5.1	4.3
7	4.7	3.6	3.9	3.9	3.7	3.4	3.0	5.6	6.2	3.3	3.4	3.1
8	5.5	2.7	2.9	3.1	2.2	2.7	3.7	2.9	4.1	2.4	2.8	4.0
9	5.5	3.8	2.3	3.8	4.8	3.0	9.8	3.1	5.1	4.2	3.1	4.1
10	4.1	5.7	4.3	3.8	7.6	2.6	8.3	2.2	4.1	4.9	2.7	4.9
11	4.2	2.8	4.2	4.0	2.6	3.0	4.3	4.4	2.3	4.6	3.4	7.8
12	4.7	3.0	4.7	3.3	3.3	2.8	2.1	3.3	3.4	4.8	2.8	5.1
13	4.0	3.0	3.7	3.1	3.3	3.7	3.5	3.4	4.6	4.8	3.0	5.2
14	3.0	2.6	3.7	3.5	2.9	2.7	1.8	3.7	3.1	5.2	5.6	3.5
15	2.5	2.7	3.6	2.8	4.7	4.1	3.1	3.4	2.6	4.2	5.0	3.7
16	2.5	6.6	2.9	1.8	2.6	3.2	3.7	4.2	2.1	3.0	4.8	3.3
17	4.0	4.9	2.7	2.4	1.8	1.9	2.5	3.4	3.7	2.6	2.9	2.5
18	3.3	5.0	2.8	2.2	1.8	4.0	3.0	2.6	3.3	4.1	4.6	3.4
19	4.3	4.3	2.9	3.1	2.2	2.5	2.6	5.9	3.8	4.5	4.1	2.7
20	2.9	3.8	3.1	6.3	2.1	1.8	2.8	3.7	3.0	5.9	4.8	2.8
21	2.2	4.6	3.8	4.7	1.8	3.7	4.4	4.1	3.8	4.5	3.7	4.7
22	2.9	4.3	3.9	2.7	1.8	4.4	2.7	5.1	3.8	3.9	4.6	4.5
23	3.4	3.3	3.4	2.7	1.1	2.7	2.9	4.3	7.1	4.7	3.7	3.1
24	4.3	5.1	2.5	3.3	3.1	2.9	3.4	3.5	3.7	3.7	5.9	5.1
25	4.4	4.9	3.8	1.5	2.1	2.3	3.4	2.7	4.2	3.4	5.0	3.0
26	3.1	4.0	4.3	3.3	4.8	5.6	3.3	1.8	4.7	4.3	3.1	3.8
27	2.3	4.0	4.4	1.1	11.0	11.2	2.7	1.7	5.5	3.0	4.6	4.5
28	3.5	4.9	2.5	2.3	4.8	4.6	2.6	4.7	4.1	4.4	4.4	5.7
29	3.5		3.0	1.5	2.7	1.9	2.9	3.7	4.4	1.8	4.3	4.7
30	3.0		2.9	4.0	3.8	2.9	4.7	2.1	2.3	3.3	4.7	4.4
31	2.9		3.3		6.2		2.5	4.0		7.4		5.1

2014	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	5.0	5.6	4.2	2.2	8.5	5.6	7.8	7.2	9.7	3.5	4.7	5.4
2	6.3	3.0	3.1	3.1	2.9	9.0	4.3	8.3	7.2	2.1	3.9	3.8
3	6.4	2.6	3.0	2.9	4.4	8.7	4.2	6.2	8.5	2.5	3.5	4.3
4	7.1	3.7	4.1	1.7	5.0	4.3	5.6	2.9	3.0	4.0	3.9	3.4
5	4.9	5.9	5.0	2.5	1.4	2.7	1.8	8.2	7.1	3.4	3.1	3.0
6	5.1	5.5	5.0	2.7	1.9	7.0	2.5	3.3	5.2	4.3	2.7	3.8
7	7.0	4.0	5.0	3.1	3.4	5.4	3.8	5.2	6.9	5.1	3.9	4.6
8	5.0	3.3	4.7	2.2	3.2	8.5	2.7	3.8	5.4	6.2	5.8	5.2
9	3.2	4.0	5.4	2.6	2.5	2.2	3.1	3.9	2.9	3.8	5.2	6.0
10	5.4	3.9	5.4	3.5	3.7	7.8	4.0	3.8	2.6	4.8	4.9	4.4
11	4.6	4.6	3.7	3.9	1.8	5.4	3.3	2.9	2.5	4.9	5.5	4.0
12	3.8	6.5	4.6	3.8	1.0	1.9	1.8	3.5	3.4	4.8	5.7	5.2
13	3.5	4.2	4.3	3.8	3.1	2.9	0.9	3.5	2.9	4.4	5.6	4.0
14	7.1	3.8	4.6	5.4	4.3	7.7	9.4	4.6	2.2	2.8	6.7	3.3
15	5.6	3.7	3.0	5.1	1.6	4.6	5.0	4.2	4.6	4.1	4.8	3.1
16	4.0	2.3	4.9	5.1	3.5	3.5	8.2	2.1	3.8	3.4	2.7	3.8
17	3.5	2.9	4.2	4.7	3.4	3.5	2.7	2.4	1.8	5.8	3.7	5.6
18	2.5	3.8	2.6	2.9	3.8	3.7	3.5	3.5	2.5	4.0	3.9	5.8
19	2.6	6.1	3.8	3.4	4.0	3.6	3.3	4.2	3.4	2.5	5.0	4.7
20	3.8	5.6	4.7	3.8	4.1	4.7	1.9	2.3	2.2	2.5	4.4	5.6
21	5.1	5.6	5.7	3.7	3.9	6.9	4.8	2.1	3.2	4.5	4.3	5.8
22	4.2	4.6	3.7	3.9	3.7	5.3	3.5	5.1	2.3	4.9	4.4	6.0
23	6.6	4.4	2.6	3.2	3.3	1.9	2.9	4.8	6.1	3.1	4.3	5.9
24	5.8	4.4	4.4	2.5	3.0	1.9	2.3	4.4	6.4	2.8	3.6	6.8
25	2.7	3.1	3.8	2.6	2.9	1.8	2.8	3.1	4.6	3.1	4.2	5.2
26	3.9	2.9	5.9	5.6	1.8	2.0	1.4	2.7	2.8	3.0	5.6	4.4
27	3.4	4.2	2.2	3.4	2.4	2.4	9.6	4.5	5.8	2.5	5.2	4.8
28	4.6	3.5	2.4	2.7	6.7	1.5	9.4	2.6	3.7	4.6	3.4	3.9
29	5.1		6.2	2.3	10.2	3.1	6.4	4.4	2.1	6.9	6.4	4.3
30	5.5		2.4	4.2	2.6	2.5	3.4	7.4	3.0	3.4	5.6	2.5
31	4.7		3.4		3.9		8.7	4.3		5.7		-

2015	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	5.5	5.4	2.5	2.7	2.1	8.4	2.3	8.6	3.8	5.1	2.5	5.5
2	4.6	5.3	3.3	1.9	2.7	9.0	2.1	4.7	3.5	2.8	2.5	4.6
3	4.7	5.1	3.8	2.3	2.8	1.8	3.3	2.5	3.8	2.6	2.1	2.6
4	4.1	5.0	5.2	2.8	3.2	4.2	2.6	2.2	3.3	7.6	2.5	5.1
5	3.9	4.4	4.7	2.7	3.2	7.4	6.7	9.1	3.3	2.7	2.7	3.8
6	4.6	3.7	3.9	1.8	2.7	5.7	5.8	6.2	6.4	3.3	2.3	5.6
7	3.8	4.2	2.1	4.2	2.8	2.3	2.9	2.7	7.2	2.6	4.2	6.6
8	4.0	5.7	4.8	1.6	7.6	4.0	9.2	7.4	3.7	3.6	3.9	6.6
9	6.2	5.4	3.3	3.8	6.2	2.0	1.4	7.9	3.4	3.9	3.3	6.0
10	6.4	5.0	5.0	3.7	2.6	1.5	1.4	2.1	3.0	4.1	4.0	5.9
11	6.5	4.7	5.8	3.1	2.3	2.5	2.2	3.4	4.4	3.3	6.0	5.1
12	7.8	6.6	5.4	1.9	2.1	1.7	7.0	1.6	4.0	4.4	3.1	4.8
13	6.5	4.7	5.2	1.9	2.5	3.3	3.3	3.0	3.1	7.1	4.5	5.4
14	5.9	4.8	4.7	3.7	2.2	2.2	2.1	2.7	3.0	3.8	5.8	4.6
15	4.2	5.0	4.5	3.0	1.1	2.7	6.7	4.8	2.2	2.6	5.5	5.1
16	4.4	5.5	3.5	2.1	2.6	2.2	3.0	4.7	2.9	3.4	3.4	5.6
17	5.0	6.4	3.5	3.3	5.9	2.3	5.9	2.7	3.4	3.0	5.1	-
18	4.1	8.1	3.1	3.9	2.2	3.9	2.9	1.9	4.2	2.4	4.6	-
19	3.5	4.5	3.1	2.6	2.1	1.8	3.5	3.0	3.8	3.8	3.3	-
20	4.7	3.3	4.0	4.0	10.6	2.8	2.7	2.2	2.2	2.5	5.2	-
21	3.0	2.3	4.6	3.1	3.8	3.5	2.2	7.5	4.4	2.9	3.9	3.3
22	5.4	2.3	3.1	2.9	1.4	2.9	2.6	7.1	2.5	3.3	3.3	3.5
23	4.9	2.6	2.3	3.0	2.2	4.0	2.1	2.1	4.0	3.2	2.3	4.3
24	4.6	4.2	0.9	3.4	3.4	5.2	1.9	3.4	2.9	3.7	4.0	5.3
25	4.0	2.7	2.9	2.7	2.1	4.2	7.1	10.4	4.3	5.4	2.7	4.4
26	4.8	3.7	3.8	1.8	2.1	2.9	10.1	5.7	3.4	3.5	2.2	3.9
27	6.3	2.3	1.9	2.2	2.5	3.7	8.4	2.9	4.8	3.3	5.1	4.3
28	5.2	2.5	2.9	2.2	3.1	2.7	4.8	8.5	3.4	5.1	6.3	4.7
29	3.5		3.9	2.7	2.8	2.5	2.9	3.3	1.5	5.0	5.6	2.6
30	3.9		5.6	3.0	2.8	2.3	3.9	1.8	3.9	6.5	5.7	2.2
31	4.2		4.8		7.0		6.3	4.0		6.0		-



- **ANEXO 4:** Catálogo lámpara vapor de sodio de alta presión 400W. - <https://goo.gl/mipYn0>

GE  
Lighting



# Lucalox™ Estándar

Lámparas de Sodio de Alta Presión  
Tubular Clara & Elíptica Difusa  
70W, 100W, 150W, 250W, 400W y 1000W

HOJA TECNICA

## Información del producto

Desde la invención de la iluminación de sodio de alta presión en 1965 hasta las fuentes actuales más avanzadas, las lámparas de sodio de alta presión Lucalox™ de GE condujeron a los caminos de la innovación y la calidad. El reservorio de amalgama exclusivo de GE ayuda a aumentar el promedio de vida y mejora el mantenimiento de lúmenes.

Con eficiencias aproximadas a 130 lúmenes por watt, las lámparas Lucalox™ Estándar de GE son las más eficientes fuentes de luz disponibles con reproducción de buen color. Los resultados de una eficacia alta y bajos costos operacionales resultan en una cuenta de electricidad baja.

La mayoría de las lámparas Lucalox™ posee una vida promedio de 28.500 horas. Una vida más larga significa menos reemplazos y reducción de costos de mantenimiento.



## Aplicaciones

- Iluminación de carreteras
- Zonas de recreación
- Seguridad
- Estacionamientos
- Proyectores
- Almacenes
- Unidades industriales

## Datos técnicos

### Lucalox™ Estándar – Tubular Clara

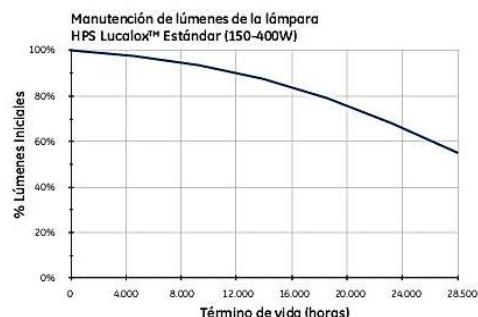
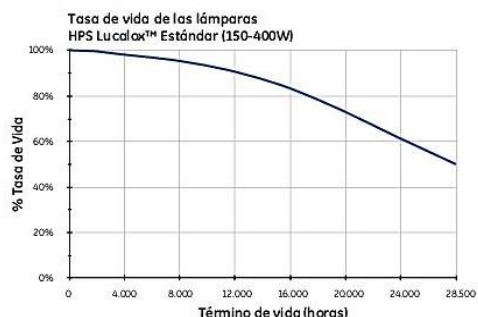
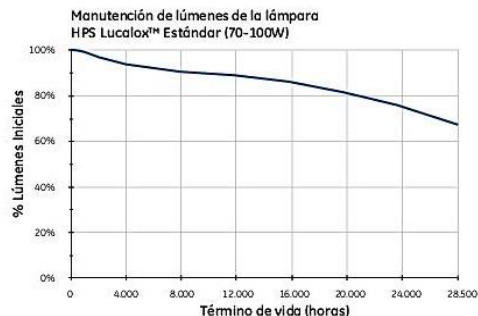
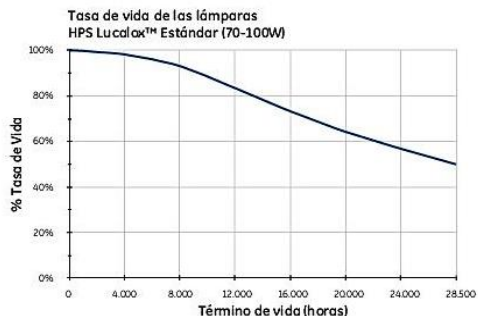
Código de Producto	99485	99486	99487	74265	99488	74267	99489	74269	99490	45751
Descripción del Producto	LU70/T/E27	LU100/T/E27	LU100/T/E40	LU150/T/E40	LU150/T/E40	LU250/T/E40	LU250/T/E40	LU400/T/E40	LU400/T/E40	LU1000/T/E40/4pk
Potencia Nominal [W]	70	100	100	150	150	250	250	400	400	1000
Tensión [V]	90	100	100	100	100	100	100	100	100	110
Base	E27	E27	E40	E40	E40	E40	E40	E40	E40	E40
Lúmenes Nominales [lm]	6100	9100	9100	15000	15000	28000	28000	48000	48000	130000
Lúmenes Medidos [lm]	6100	9100	9100	15000	15000	28000	28000	48000	48000	133340
Eficacia Efectiva de la Lámpara [lm/W]	87	91	91	100	100	112	112	120	120	137
Promedio de Vida Estimada [h]	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000
TCC [Ra]	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Temperatura Ambiente [°C]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Bulbo	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro
Posición de Funcionamiento	Universal	Universal	Universal	Universal	Universal	Universal	Universal	Universal	Universal	Universal
Temperatura Mínima Inicial [°C]	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40



imagination at work

## Mantenimiento de lúmenes

En las mismas condiciones controladas. Los lúmenes iniciales de referencia informan su término de vida después de 100 horas. Debido a las variaciones en los sistemas y a las condiciones de servicio (en particular el final de ciclo), el rendimiento real de la lámpara puede variar de las tasas de lúmenes referenciales. **El mantenimiento de lúmenes (emisión de luz durante la vida) lámparas individuales o grupos de lámparas puede reducirse dependiendo condiciones de funcionamiento de la lámpara, incluso por debajo de su límite (consulte las tablas de Mantenimiento de Lúmenes).**



## Datos eléctricos

Los datos se basan en la operación nominal de la lámpara desde un balasto nominal con corrección del factor de potencia. La tensión de operación se basa en un balasto típico comercialmente disponible.

## Datos de la lámpara

Potencia	Tensión ±15 [V]	Corriente Nominal [A]	Potencia Nominal [W]	Factor de Corriente de Pico
<b>Lucalox™ Estándar – Tubular Clara</b>				
70	90	0.98	70	1.45
100	100	1.20	100	1.45
150	100	1.80	150	1.45
250	100	3.00	250	1.45
400	100	4.60	292	1.45
1000	110	10.60	960	1.45
<b>Lucalox™ Estándar - Elíptica Difusa</b>				
70	90	0.98	70	1.45
100	100	1.20	100	1.45
150	100	1.80	150	1.45
250	100	3.00	250	1.45
400	105	4.45	400	1.45
1000	110	10.30	1000	1.45

- **ANEXO 5:** Catálogo luminaria LED, modelo escogido de 236[W] y 28800[lm].

<https://goo.gl/XwD83V>



AKILA  ILUMINACIÓN LED

MODULARIDAD EN TAMAÑO Y PRESTACIONES, DESDE CARRETERAS URBANAS HASTA AUTOPISTAS

La gama Akila es escalable en términos de flujo y tamaño (pasos de 48 LED) gracias a su diseño plano. Con 48 LED, la luminaria Akila es ideal para iluminar calles urbanas y zonas peatonales.

Con 288 LED, es una justificada y beneficiosa alternativa LED a las lámparas de sodio de alta presión de 250W/400W de potencia para iluminar grandes carreteras, amplias avenidas y autopistas. La gama Akila ha sido desarrollada con el objetivo de proporcionar una luminaria LED de altas prestaciones con un coste total de propiedad mínimo. Akila no es sólo una luminaria LED económica, sino que además ofrece una reducción radical del consumo energético. Esto representa una solución muy rentable para todo el ciclo de vida de una instalación de iluminación.



CARACTERÍSTICAS - LUMINARIA

- Grado de hermeticidad del bloque óptico: IP 66 LEDSafe® (\*)
- Resistencia a los impactos (vidrio): IK 08 (\*\*)
- Resistencia aerodinámica (CxS): 0,0506 m<sup>2</sup> (96 LED)  
0,0733 m<sup>2</sup> (144 LED)  
0,0924 m<sup>2</sup> (192 LED)  
0,1035 m<sup>2</sup> (288 LED)
- Tensión nominal: 230 V – 50 Hz
- Clase eléctrica: I ó II (\*)
- Peso (total): de 11,5 a 27,3 kg
- Materiales:
- Cuerpo: Perfiles de aluminio extruido pintado
- Protector: Vidrio
- Color: RAL 7001
- Cualquier otro color RAL o AKZO a petición

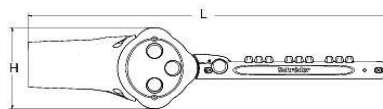
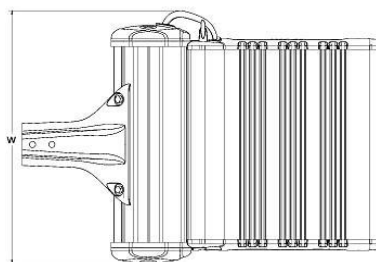
(\*) según IEC - EN 60598

(\*\*) según IEC - EN 62262

VENTAJAS CLAVE

- Escalable en términos de flujo y tamaño - proporciona más de 40.000 lm
- Una alternativa LED beneficiosa a las lámparas de sodio de alta presión de 250 W y 400 W de potencia
- Diseñada para resistir una amplia variedad de temperaturas ambientes: Ta de -20°C a 45/55°C
- Excelente conductividad térmica (200 W/mK)
- Motores fotométricos LensoFlex® 2
- Ahorro energético de hasta el 75% en comparación con las soluciones HID convencionales
- ThermiX® y LEDSafe® para prestaciones duraderas
- Gama Owllet de soluciones de control
- Protección contra sobretensiones hasta 10 kV

DIMENSIONES



Fijación : Ø 48-60mm

	48 LED	96 LED	144 LED	192 LED	240 LED	288 LED
W	405 mm	495 mm	675 mm	905 mm	1095 mm	1095 mm
H	171 mm	171 mm	171 mm	171 mm	171 mm	171 mm
L	723 mm	723 mm	723 mm	723 mm	723 mm	723 mm

## AHORRO ENERGÉTICO DE HASTA EL 75%

La luminaria Akila integra las últimas soluciones de tecnología punta. La combinación de tecnología LED, un driver que proporciona un sistema de flujo luminoso constante y un sistema de regulación permiten conseguir un ahorro energético de hasta el 75% en comparación con luminarias equipadas con lámparas de descarga.

Con este equilibrio de energía tan favorable, la luminaria Akila contribuye a la gestión eficaz de los gastos y al uso responsable de la energía.

## MODULARIDAD ABSOLUTA

Gracias a los motores fotométricos compuestos de cantidades modulares de la luminaria Akila puede ofrecer una amplia variedad de paquetes de lumínicos desde 6.000 hasta 40.000 lm. Esta modularidad en tamaño y prestaciones va acompañada de una amplia variedad de controladores y opciones de regulación a fin de aprovechar al máximo las ventajas de una solución LED de gran rendimiento. Con esta absoluta flexibilidad, Akila garantiza que las distribuciones fotométricas estén específicamente adaptadas a las necesidades reales del área que debe ser iluminada.

## RESISTENTE A LAS ALTAS TEMPERATURAS

La luminaria Akila ha sido diseñada para funcionar de forma fiable en cualquier parte del mundo, incluidas las regiones más calurosas. Gracias a su diseño plano, consigue una excelente conductividad térmica de 200 W/mK.

Akila soporta perfectamente las altas temperaturas (Ta de hasta 55°C según modelo) lo que permite instalarla en regiones donde las temperaturas nocturnas son más calurosas.

## LENSOFLEX®2

Las luminarias Akila están equipadas con la segunda generación de motores fotométricos LensoFlex®2 específicamente desarrollados para iluminar espacios donde el bienestar y la seguridad de las personas que los usan son fundamentales. Este sistema se basa en el principio de adición de distribución fotométrica. Cada LED asociado con una lente específica genera la distribución fotométrica completa de la luminaria. Es el número de LED en combinación con la corriente de funcionamiento lo que determina el nivel de intensidad de la distribución fotométrica.

## FUTUREPROOF

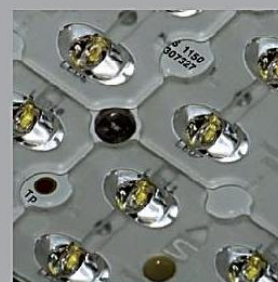
Mediante tecnología punta, las luminarias Akila han sido diseñadas para cumplir con el concepto FutureProof.

El bloque óptico puede ser reemplazado lo que permite su sustitución para aprovechar futuros avances tecnológicos. Todos los modelos pueden ser equipados con una unidad óptica LEDSafe® completamente nueva.

AKILA  LA LUZ VERDE



Para obtener más información y para seguir el progreso de nuestros productos, visite nuestra Web.



AKILA 

FOTOMETRÍA

LensoFlex®2								Vida útil: Mantenimiento flujo luminoso $t_{q 25^{\circ}\text{C}}^{(1)}$
Número de LED	Blanco neutro (4250 K)	48 LED	96 LED	144 LED	192 LED	240 LED	288 LED	@100.000h
Corriente: 350 mA	Flujo nominal (lm)*	6800	13700	20500	27400	34300	41100	90%
	Consumo eléctrico (W)	58	104	152	208	257	311	
Corriente: 530 mA	Flujo nominal (lm)*	9600	19200	28800	38400	48000	-	
	Consumo eléctrico (W)	80	155	236	309	391	-	

(\*) El flujo nominal es un flujo indicativo @ Tj 25°C basado en los datos proporcionados por el fabricante de LED. La salida de flujo real de la luminaria depende de las condiciones ambientales (p.ej temperatura y contaminación) y de la eficacia óptica de la luminaria.

El flujo nominal depende del tipo de LED utilizado y puede cambiar de acuerdo con los rápidos y continuos avances en la tecnología LED.

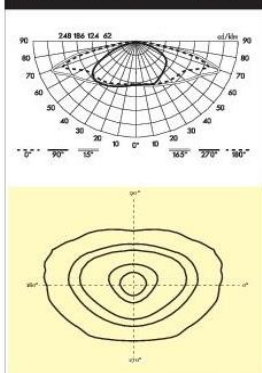
Para seguir el progreso de la eficacia luminosa de los LED utilizados, visite por favor nuestra Web.

(1) Según IES LM-80 - TM-21.

DISTRIBUCIONES FOTOMÉTRICAS

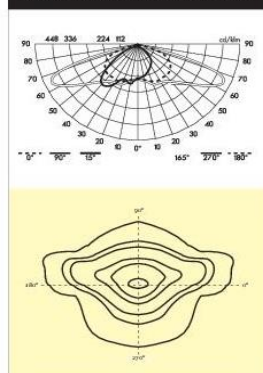
CASOS DE ESTUDIO

Óptica LED 5068 - Carreteras urbanas



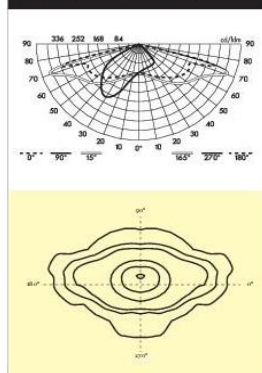
Para clasificación M3 según CIE 115

Óptica LED 5103 - Calles residenciales



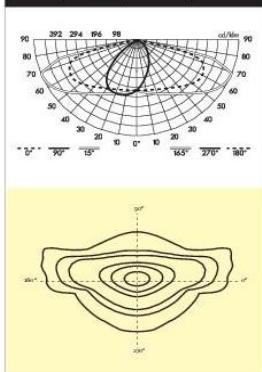
Para clasificación M4 según CIE 115

Óptica LED 5098 - Calles estrechas



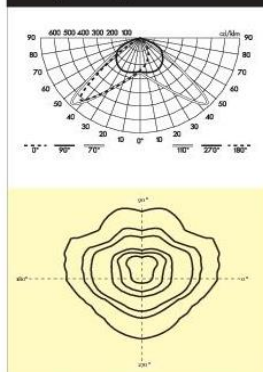
Para clasificación S según CIE 115

Óptica LED 5102 - Autopistas

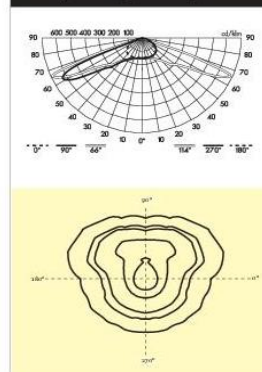


Para clasificación M3 según CIE 115

Óptica LED 5120 - Área media



Óptica LED 5121 - Área grande



AKILA  
LED



Acceso directo al compartimento electrónico y de auxiliares eléctricos



Fácil acceso, en un solo movimiento, al compartimento electrónico

Bloque óptico IP 66 LEDSafe® sellado por un protector de vidrio extratransparente para la máxima emisión del flujo luminoso

LensoFlex®2: un motor fotométrico específicamente diseñado para ofrecer máximas prestaciones y flexibilidad fotométrica

Protección contra sobretensiones 10kV



Pieza de fijación



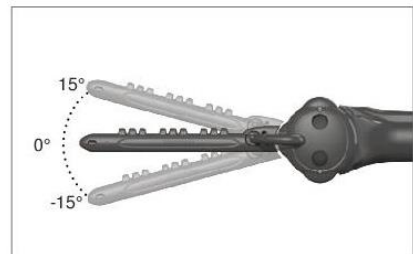
Montaje de entrada lateral o vertical



ThermiX®: mediante el perfil de extrusión, posee una excelente conductividad térmica 200W/mK



Versión montaje vertical




Versión montaje de entrada lateral

Sistema de ajuste de inclinación in situ con ángulos de 15° a -15°

Motor fotométrico FutureProof, reemplazable y fácilmente sustituible para aprovechar los futuros avances tecnológicos













- **ANEXO 6:** Catálogo módulo fotovoltaico, modelo escogido de 315[W]. - <https://goo.gl/TDujTA>



## MONOCRYSTALLINE

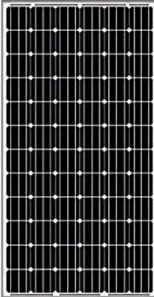
### ● 300 – 320 W SOLAR PANEL

## BENEFITS

-  -Resistant to hail impacts with speeds up to 23 m/s or 75.46 ft/s.
-  -Wide range of operating temperatures from -40° C up to +90°C.
-  -Supports higher mechanical loads, snow at 5,400 Pa and 2,400 Pa above in wind.
-  -Potential Induced Degradation (PID) Free.
-  -Electrical grounding isolation of up to 3,600 V per second.
-  -Micro Crack free cells.
-  -Resistant to grounding larger than 100MΩ.
-  -High resistance to corrosion by salt mist and ammonia.
-  -Light Induced Degradation (LID) Free.
-  -Positive performance tolerance.

## S72MC

**72 Cell Modules**  
S72MC-300, S72MC-305, S72MC-310,  
S72MC-315, S72MC-320



The S72MC module is manufactured using 72 solar monocrystalline cells, with optimal design, incorporating a robust and automated manufacturing to quality testing on the BOM and 3 ELT tests before boarding. All Solartec modules are designed and tested under the following standards:

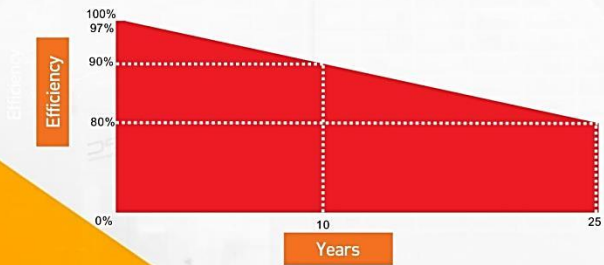
- IEC 61215 / Design qualification and type approval.
- IEC 61730 / Module safety qualification.
- IEC 61701 / Salt mist corrosion testing of photovoltaic
- IEC 62804 / Test methods for the detection of potential-induced degradation
- IEC 62716 / Ammonia corrosion testing of photovoltaic
- UL1703 / Safety for flat-plate photovoltaic modules and panels.

**QUALITY WARRANTY**  
**We guarantee the first 10 years for all manufacturing and material defects as specified by the codes referred by IEC that make up the solar module.**

**LINEAL WARRANTY PERFORMANCE**

-During the first year of use we guarantee a nominal power output no lower than 97%

-From year 2 to year 10 we guarantee a nominal power output no lower than 90% and from year 11 to 25 we guarantee a nominal power output no lower than 80% maintain a lineal degradation of 0.7% annually



**S72MC**

**Operating Conditions**

<b>Temperature</b>	-40°C to +90°C
<b>Maximum Wind Load</b>	2,400 Pa
<b>Maximum Snow Load</b>	5,400 Pa
<b>Resistance to Impact</b>	Hail with speeds of 23 m/s or 75.46 ft/s
<b>Earth Grounding</b>	≤.1 Ω.
<b>Resistance to Isolation</b>	≥100 MΩ.
<b>Relative Humidity</b>	85°C / 85%

[www.solartecus.mx](http://www.solartecus.mx)



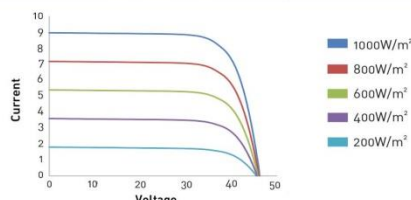
## MONOCRYSTALLINE

### ● 300 – 320 W SOLAR PANEL

#### Specifications

Type of Cell	Monocrystalline
Cell Dimensions	156 mm x 156 mm / 6 in x 6 in
Number of Cells	72 (6 x 12)
Weight	23.2 Kg / 51.15lb
Module Dimensions	1,956 mm x 992 mm x 45 mm / 77.01 in x 39.05 in x 1.77 in
Cable Length	1,200 mm / 47.24 in, Type THWN , 1,000V 4mm <sup>2</sup> / 0.006 in <sup>2</sup>
Junction Box IP	IP65 / IP67
Number of Diodes	3 / 6
Connectors	MC4 Compatible / IP 65
Backsheet Color	White
Glass	3.2mm, ARC Tempered low iron
Frame	Anodized Aluminum (15 μm / 0.0006 in), type 6063
Module Fire Performance	Type 1 (UL1703) or Class C (IEC 61730)
Application According to IEC	Class A
Packaging Configuration	23 pieces
Weight the Pallet	554.6 Kg / 1,222.68 lb
Pieces per Container	40 ft <sup>3</sup> - 550 pieces / 53 ft <sup>3</sup> - 713 pieces

#### I-V Curve



Current / Voltage type depends on irradiance and module temperature

Maximum system Voltage	1000 V	Maximum value of fuse in series	15 A
------------------------	--------	---------------------------------	------

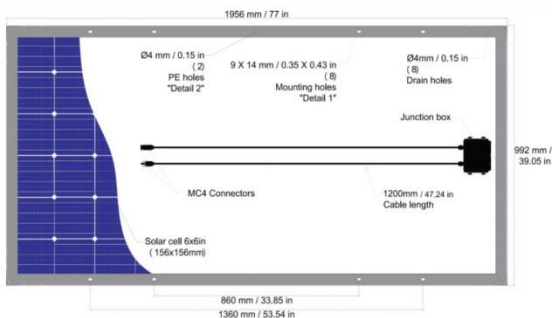
#### Solar panel with solar cells 156 mm Monocrystalline silicone

Model	S72MC-300		S72MC-305		S72MC-310		S72MC-315		S72MC-320	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Open circuit voltage (Voc)	44.60 V	44.67 V	45.10 V	45.17 V	45.40 V	45.47 V	45.90 V	45.97 V	46.01 V	46.08 V
Voltage in maximum power point (Vmpp)	36.50 V	36.43 V	36.90 V	36.83 V	37.10 V	37.03 V	37.50 V	37.43 V	37.76 V	37.69 V
Shortcircuit current (Isc)	8.74 A	7.04 A	8.79 A	7.08 A	8.89 A	7.16 A	8.95 A	7.21 A	8.97 A	7.23 A
Current at maximum power point (Impp)	8.21 A	6.62 A	8.26 A	6.66 A	8.35 A	6.73 A	8.41 A	6.78 A	8.50 A	6.85 A
Maximum power (Pmax)	300 W	241 W	305 W	245 W	310 W	249 W	315 W	253 W	320 W	258 W
Module efficiency	15.49%		15.75%		16.00%		16.26%		16.52%	

#### Temperature coefficient

Of Isc (α)	+0.036% / °C	Of Voc (β)	-0.346% / °C	Of Pmax (γ)	-0.47% / °C
------------	--------------	------------	--------------	-------------	-------------

#### Dimensions



#### Warranties

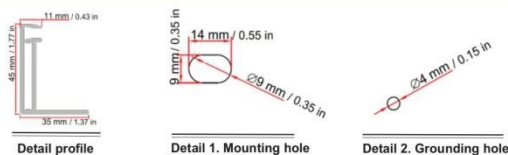
During the first year of use we guarantee a nominal power output no lower than 97%

From year 2 to year 10 we guarantee a nominal power output no lower than 90% and from year 11 to 25 we guarantee a nominal power output no lower than 80% maintain a lineal degradation of 0.7% annually

Tested under standard operating conditions and under nominal cell temperature conditions [STC: 1,000W/m<sup>2</sup>, 25°C, AM 1.5. NOCT: 800W/m<sup>2</sup>, 45 ±2°C, AM 1.5.]

Electrical conditions of each PV module are monitored individually and available to our clients. Guaranteed tolerance +3%.

#### Aluminum Frame



#### Applications

- Structural integration
- PV Solar Farms
- PV Solar Pumping systems
- Energy Reduction Cost Projects

#### Distributed by



Contact **Solartecmx LLC**  
 9331 Millsview Rd  
 Houston, TX 77070  
 Phone +1.832.478.5235

mailto:info@solartecus.com  
 www.solartecus.com  
 Assembled in America


[www.solartecus.com](http://www.solartecus.com)

Specifications are subject to changes without any notice. CAUTION: Read the installation manual before using the product


102016  
 V. 5.4




- ANEXO 7: Catálogo mini-aerogenerador, modelo escogido de 600[W]. - <https://goo.gl/L7xYvu>



# Generadores eólicos



GE-400-12



GE-600-24

GE-1200-48

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
Modelo	GE-400-12	GE-600-24	GE-1200-48
Potencia continua	400W	600W	1200W
Potencia máxima (Pmax)	450W	750W	1300W
Voltaje nominal	12V	24V	48V
Corriente nominal	33A	25A	
Velocidad nominal (rpm)	1200	650	
Velocidad de partida (m/s)	2.0	1.5	2.0
Velocidad de arranque (m/s)	2.5	2.0	2.5
Velocidad nominal (m/s)	11	12	
Velocidad de corte (m/s)	16		
Velocidad de supervivencia (m/s)	50		
Motor	Imán permanente trifásico		
Diámetro del rotor (m)	1.7	1.7	2.0
Aspas	Cantidad	3	
	Material	Fibra de nylon	
Protección de velocidad por sobreviento	Freno electromagnético		
Protección de superficie	Aluminio fundido		
Temperatura de funcionamiento	-20°C ~ 80°C		
Peso neto (Kgs)	8	29	33
Dimensiones de embalaje (mm)	770x410x200	1690x540x290	1890x540x290



**CURVA DE POTENCIA**




Potencia: W

velocidad del viento: m/s

■ GE-400-12
 ■ GE-600-24
 ■ GE-1200-48




CE LVD EMC



- **ANEXO 8:** Características batería Plomo-Ácido, modelo escogido de 12[V] 190[Ah]. -

<https://goo.gl/7iGAMJ>

## Batería 12V-190Ah Solarmotion Monoblock



Modelo: PRIS.0390

Batería solar monoblock Solarmotion SM190 de 12 voltios y 190Ah de capacidad a C100 con tecnología de placa plana apta para sistemas de energía solar fotovoltaica, viviendas de campo, telecomunicaciones, servicios de emergencia, señalización, vehículos eléctricos, etc...

### Aplicaciones

- Sistemas de energía solar fotovoltaica.
- Sistemas back-up.
- Telecomunicaciones.
- Servicios de emergencia.
- Señalización.
- Torres repetidoras de celulares.
- Náutica.
- Vehículos eléctricos.



### Detalles de construcción

- Rejillas: de aleación plomo-antimonio.
- Placas con geometría radial para una vida útil mayor.
- Caja y tapa de polietileno de alta resistencia.

### Características técnicas

- Batería con mantenimiento.
- Capacidad C20: 165Ah.
- Capacidad C100: 190Ah.
- Tensión: 12V.
- Medidas: 513x189x220mm (Largo x Ancho x Alto).
- Peso: 38 Kg.
- Electrolito de 1,29gr/cm<sup>3</sup> +-0,015 gr/ml.
- Más de 400 ciclos al 75% de descarga.
- Más de 800 ciclos según IEC 61427.
- Recombinación de gases al 98-99%.
- Tensión de ecualización y carga: 15V a 25° C.
- Tensión de flotación: 13,8 a 25° C.
- Larga vida de servicio.
- Asas laterales para fácil manejo.



- **ANEXO 9:** Características regulador de carga híbrido, modelo escogido PWM de 24[V] 800[W]. - <https://goo.gl/uCQbhv>



## Detalles de Producto

### Información Básica

**No. de Modelo:** QW-800JN

**Condición:** Nuevo

**Proceso de dar un título:** CE

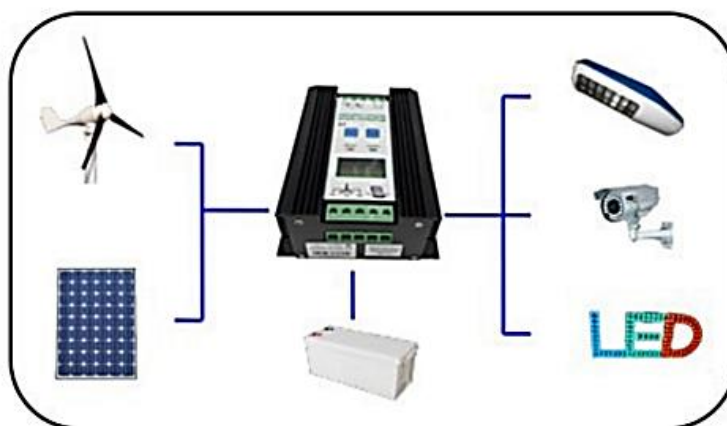
**Aplicación:** Controlador de Sistema Solar , Controlador de Cargador , Controlador de Iluminación , Controlador de Viento , Estación de Trabajo Solar , Controlador de Tensión

### Entorno de trabajo de:

- 1) Este regulador debe estar en el uso limpio y ventilado seco del ambiente
- 2) Evitar la luz del sol directa, la exposición al sol y la lluvia, humedad, polvo, una niebla bajo ambiente del uso
- 3) Poner la posición debe estar y distancia del paquete de la batería 0.5 M arriba.
- 4) ¡Se prohíbe terminantemente para tener gas inflamable, explosivo adentro bajo ambiente del uso del fuego y chispas!
- 5) Temperatura ambiental 0 °C--+ 40 °C.
- 6) La higrometría del aire no es más el de 85% (°C 35 . . . + °C 60).

Modelo	QW-300JN	QW-300JN	QW-500JN	QW-600JN	QW-800JN
Voltaje clasificado del sistema	12V	24V	24V	24V	24V
Potencia fotovoltaica del módulo	200W	150W	250W	300W	400W
Potencia del generador de las energías eólicas	300W	300W	500W	600W	800W
Carga	carga	30A	20A	23A	37.5A
	Están llenando la protección	el 14.4V±1%	el 28.8V±1%		
	Relleno del flotador	el 13.8V±1%	el 27.6V±1%		
	Están llenando la recuperación	el 13.2V±1%	el 26.4V±1%		
Descarga	Remuneración de temperatura	- 24mV/°C	- 48mV/°C		
	Desconexión (dc)	el 10.8V±1%	el 21.8V±1%		
Sobretensión	Recuperación (C.C.)	los 12.3V±1%	los 24.6V±1%		
	Cortado (C.C.)	los 16V±1%	los 32V±1%		
	Recuperación (C.C.)	el 15V±1%	el 30V±1%		
Corriente ociosa (C.C.)	≤0.1A	≤0.1A			
Caída de voltaje (dc)	≤0.5V				
Modo de control	función de la carga del ventilador MPPT, PWM descarga la función, PWM fluye función de limitación de la corriente				
Carga del aumentador de presión	Circuito independiente flexible del aumentador de presión (opcional)				
Mostrar la manera	LCD				
Parámetros de la visualización	Voltaje, corriente eléctrica de carga, potencia de batería de almacenaje				
Tipo de la protección	Protección contra la luz, relleno del contraataque de la batería solar protección, la batería de almacenaje, la batería protege abierto en protección, velocidad del viento y protección suave del freno de la sobretensión, automáticas protección de la sobrecarga, etc.				
Modo de enfriamiento	radiador				
Temperatura del ambiente	- 25°C~+55°C				
Utilizar la altitud	≤ 5500 m (2000 m sobre la necesidad de reducir uso de la potencia)				
Humedad del ambiente	0~el 90%, no rocío del nudo				
peso	1.15KG				
Dimensión de la dimensión de una variable	165 x 140 x 64 (milímetros)				

### Topology Diagram



- **ANEXO 10:** Características inversor de corriente, modelo escogido de 300[W] - 24[V]. - <https://goo.gl/nQ6uUt>

### **Inversor de onda modificada HQ 300W (24V)**

Ondulador de corriente de 300W de potencia para instalaciones de 24V.



El inversor de onda modificada HQ de 300W permite usar aparatos eléctricos de baja potencia en una vivienda, vehículo, barco o en cualquier sitio. Este inversor transforma electrónicamente la corriente de la batería a 24V en corriente a 230V para poder usar una televisión, luz, un equipo de música, cargar una cámara, etc. Dispone de salida de carga en enchufe normal y en conector USB, muy útil para cargar un reproductor de MP3 o un teléfono móvil.

Entre sus características destacan sus funciones de protección por batería baja, cortocircuito y contra polaridad inversa de la batería. También dispone de una potencia de salida máxima de 800W para soportar sin problemas los picos de arranque de algunos aparatos.

Características Inversor de onda modificada HQ 300W (24V):

- Salida de corriente continua: 300 W.
- Salida de corriente: 600 W.
- Entrada: 20-30V CC.
- Salida: 230V CA.
- Salida USB: 5V CC.
- Forma de onda de salida: Onda sinusoidal modificada.
- Frecuencia de salida: 50 Hz.
- Corriente en espera: < 0.2 A.
- Eficiencia: 90%.
- Refrigeración: Por convección de aire.
- Salida CA: enchufe schuko.
- Tamaño: 165 x 90 x 70 mm.
- Peso: 1.1 Kg.



Protecciones:

- Protección por cortocircuito.
- Entrada de polaridad inversa (por fusible).
- Alta tensión de entrada: 24V corriente continua.
- Alarma de batería baja: 21V
- Desconexión por batería baja: 20V
- Protección por sobrecarga.

- **ANEXO 11:** Tabla de valores normalizados cables AWG. - <https://goo.gl/QIUTsM>

American Wire Gauge Chart

AWG	DIAMETER	AREA	WEIGHT [KG PER METER]	TURNS OF WIRE [PER INCH]
0000 (4/0)	0.46" (11.7mm)	212 kcmil (107mm <sup>2</sup> )	0.953	2.17
000 (3/0)	0.41" (10.4mm)	168 kcmil (85 mm <sup>2</sup> )	0.756	2.44
00 (2/0)	0.365" (9.27mm)	133 kcmil (67.4 mm <sup>2</sup> )	0.599	2.74
0	0.325" (8.25 mm)	106 kcmil (53.5 mm <sup>2</sup> )	0.475	3.08
1	0.289" (7.35 mm)	83.7 kcmil (42.4 mm <sup>2</sup> )	0.377	3.46
2	0.258" (6.54 mm)	66.4 kcmil (33.6 mm <sup>2</sup> )	0.299	3.88
3	0.229" (5.83 mm)	52.6 kcmil (26.7 mm <sup>2</sup> )	0.237	4.36
4	0.204" (5.19 mm)	41.7 kcmil (21.2 mm <sup>2</sup> )	0.188	4.89
5	0.182" (4.62 mm)	33.1 kcmil (16.8 mm <sup>2</sup> )	0.149	5.5
6	0.162" (4.12 mm)	26.3 kcmil (13.3 mm <sup>2</sup> )	0.118	6.17
7	0.144" (3.66 mm)	20.8 kcmil (10.5 mm <sup>2</sup> )	0.0938	6.93
8	0.128" (3.26 mm)	16.5 kcmil (8.37 mm <sup>2</sup> )	0.0744	7.78
9	0.114" (2.91 mm)	13.1 kcmil (6.63 mm <sup>2</sup> )	0.059	8.74
10	0.102" (2.59 mm)	10.4 kcmil (5.26 mm <sup>2</sup> )	0.0468	9.81
11	0.0907" (2.30 mm)	8.23 kcmil (4.17 mm <sup>2</sup> )	0.0371	11
12	0.0808" (2.05 mm)	6.53 kcmil (3.31 mm <sup>2</sup> )	0.0294	12.4
13	0.0720" (1.83 mm)	5.18 kcmil (2.62 mm <sup>2</sup> )	0.0234	13.9
14	0.0641" (1.63 mm)	4.11 kcmil (2.08 mm <sup>2</sup> )	0.0185	15.6
15	0.0571" (1.45 mm)	3.26 kcmil (1.65 mm <sup>2</sup> )	0.0147	17.5
16	0.0508" (1.29 mm)	2.58 kcmil (1.31 mm <sup>2</sup> )	0.0116	19.7
17	0.0453" (1.15 mm)	2.05 kcmil (1.04 mm <sup>2</sup> )	0.00922	22.1
18	0.0403" (1.02 mm)	1.62 kcmil (0.823 mm <sup>2</sup> )	0.00732	24.8
19	0.0359" (0.912 mm)	1.29 kcmil 0.653 mm <sup>2</sup> )	0.0058	27.9
20	0.032" (0.812 mm)	1.02 kcmil 0.518 mm <sup>2</sup> )	0.0046	31.3
21	0.0285" (0.723 mm)	0.810 kcmil (0.410 mm <sup>2</sup> )	0.00365	35.1
22	0.0253" (0.644 mm)	0.642 kcmil (0.326 mm <sup>2</sup> )	0.00289	39.5
23	0.0226" (0.573 mm)	0.509 kcmil (0.258 mm <sup>2</sup> )	0.00229	44.3
24	0.0201" (0.511 mm)	0.404 kcmil (0.205 mm <sup>2</sup> )	0.00182	49.7
25	0.0179" (0.455 mm)	0.320 kcmil (0.162 mm <sup>2</sup> )	0.00144	55.9
26	0.0159" (0.405 mm)	0.254 kcmil (0.129 mm <sup>2</sup> )	0.00114	62.7
27	0.0142" (0.361 mm)	0.202 kcmil (0.102 mm <sup>2</sup> )	0.000908	70.4
28	0.0126" (0.321 mm)	0.16 kcmil (0.081 mm <sup>2</sup> )	0.00072	79.1
29	0.0113" (0.286 mm)	0.127 kcmil (0.0642 mm <sup>2</sup> )	0.000571	88.8
30	0.01" (0.255 mm)	0.101 kcmil (0.0509 mm <sup>2</sup> )	0.000453	99.7
31	0.00893" (0.227 mm)	0.0797 kcmil (0.0404 mm <sup>2</sup> )	0.000359	112
32	0.00795" (0.202 mm)	0.0632 kcmil (0.032 mm <sup>2</sup> )	0.000285	126
33	0.00708" (0.18 mm)	0.0501 kcmil (0.0254 mm <sup>2</sup> )	0.000226	141
34	0.00630" (0.16 mm)	0.0398 kcmil (0.0201 mm <sup>2</sup> )	0.000179	159
35	0.00561" (0.143 mm)	0.0315 kcmil (0.0160 mm <sup>2</sup> )	0.000142	178
36	0.005" (0.127mm)	0.025 kcmil (0.0127 mm <sup>2</sup> )	0.000113	200
37	0.00445" (0.113 mm)	0.0198 kcmil (0.01 mm <sup>2</sup> )	0.0000893	225
38	0.00397" (0.101 mm)	0.0157 kcmil (0.00797 mm <sup>2</sup> )	0.0000708	252
39	0.00353" (0.0897 mm)	0.0125 kcmil (0.00632 mm <sup>2</sup> )	0.0000562	283
40	0.00314" (0.0799 mm)	0.00989 kcmil (0.00501 mm <sup>2</sup> )	0.0000445	318

- **ANEXO 12:** Flujo de caja luminaria Híbrida autónoma para 25 años, tasa de descuento 10%.

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>INGRESOS</b>													
ahorro		\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850
<b>COSTOS</b>													
Mantenimiento				\$200,000			\$200,000			\$200,000			\$200,000
INVERSIÓN	\$232,559,584			\$29,621,314			\$29,621,314			\$29,621,314			\$29,621,314
<b>FLUJO DE CAJA NETO</b>	<b>-\$232,559,584</b>	<b>\$9,390,850</b>	<b>\$9,390,850</b>	<b>-\$20,430,464</b>	<b>\$9,390,850</b>	<b>\$9,390,850</b>	<b>-\$20,430,464</b>	<b>\$9,390,850</b>	<b>\$9,390,850</b>	<b>-\$20,430,464</b>	<b>\$9,390,850</b>	<b>\$9,390,850</b>	<b>-\$20,430,464</b>
Valor actual	-\$232,559,584	\$8,537,136	\$7,761,033	-\$15,349,710	\$6,414,077	\$5,830,979	-\$11,532,465	\$4,818,991	\$4,380,901	-\$8,664,511	\$3,620,579	\$3,291,436	-\$6,509,776
VA acumulado	-\$232,559,584	-\$224,022,448	-\$216,261,415	-\$231,611,125	-\$225,197,049	-\$219,366,070	-\$230,898,534	-\$226,079,543	-\$221,698,642	-\$230,363,154	-\$226,742,574	-\$223,451,139	-\$229,960,914

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850
		\$200,000			\$200,000			\$200,000			\$200,000	
		\$29,621,314			\$29,621,314			\$29,621,314			\$29,621,314	
\$9,390,850	\$9,390,850	-\$20,430,464	\$9,390,850	\$9,390,850	-\$20,430,464	\$9,390,850	\$9,390,850	-\$20,430,464	\$9,390,850	\$9,390,850	-\$20,430,464	\$9,390,850
\$2,720,195	\$2,472,904	-\$4,890,891	\$2,043,723	\$1,857,930	-\$3,674,599	\$1,535,479	\$1,395,890	-\$2,760,780	\$1,153,628	\$1,048,753	-\$2,074,215	\$866,738
-\$227,240,720	-\$224,767,815	-\$229,658,706	-\$227,614,984	-\$225,757,054	-\$229,431,653	-\$227,896,174	-\$226,500,284	-\$229,261,064	-\$228,107,436	-\$227,058,683	-\$229,132,898	-\$228,266,160

VAN	-\$228,266,160
TIR	N/A
PRI (años)	N/A

- **ANEXO 13:** Flujo de caja luminaria Híbrida inyectando a la Red para 25 años, tasa de descuento 10%.

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>INGRESOS</b>													
ahorro		\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850
EE vendida a la red		\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717
<b>COSTOS</b>													
Mantenimiento				\$200,000			\$200,000			\$200,000			\$200,000
INVERSIÓN	\$232,559,584			\$29,621,314			\$29,621,314			\$29,621,314			\$29,621,314
<b>FLUJO DE CAJA NETO</b>	<b>-\$232,559,584</b>	<b>\$15,653,567</b>	<b>\$15,653,567</b>	<b>-\$14,167,748</b>	<b>\$15,653,567</b>	<b>\$15,653,567</b>	<b>-\$14,167,748</b>	<b>\$15,653,567</b>	<b>\$15,653,567</b>	<b>-\$14,167,748</b>	<b>\$15,653,567</b>	<b>\$15,653,567</b>	<b>-\$14,167,748</b>
Valor actual	-\$232,559,584	\$14,230,515	\$12,936,832	-\$10,644,439	\$10,691,597	\$9,719,633	-\$7,997,324	\$8,032,755	\$7,302,504	-\$6,008,508	\$6,035,128	\$5,486,480	-\$4,514,281
VA acumulado	-\$232,559,584	-\$218,329,069	-\$205,392,237	-\$216,036,676	-\$205,345,079	-\$195,625,445	-\$203,622,770	-\$195,590,015	-\$188,287,510	-\$194,296,018	-\$188,260,891	-\$182,774,411	-\$187,288,692

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850
\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717	\$6,262,717
		\$200,000			\$200,000			\$200,000			\$200,000	
		\$29,621,314			\$29,621,314			\$29,621,314			\$29,621,314	
\$15,653,567	\$15,653,567	-\$14,167,748	\$15,653,567	\$15,653,567	-\$14,167,748	\$15,653,567	\$15,653,567	-\$14,167,748	\$15,653,567	\$15,653,567	-\$14,167,748	\$15,653,567
\$4,534,281	\$4,122,073	-\$3,391,646	\$3,406,672	\$3,096,975	-\$2,548,194	\$2,559,483	\$2,326,803	-\$1,914,496	\$1,922,978	\$1,748,162	-\$1,438,389	\$1,444,762
-\$182,754,411	-\$178,632,338	-\$182,023,984	-\$178,617,312	-\$175,520,337	-\$178,068,531	-\$175,509,048	-\$173,182,245	-\$175,096,741	-\$173,173,763	-\$171,425,602	-\$172,863,991	-\$171,419,229

VAN	-\$171,419,229
TIR	-3.1%
PRI (años)	N/A



- **ANEXO 14:** Flujo de caja diseño alternativo inyectando a la Red para 25 años, tasa de descuento 10%.

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>INGRESOS</b>													
ahorro		\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850
EE vendida a la red		\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972
<b>COSTOS</b>													
Mantenimiento					\$200,000					\$200,000			\$200,000
INVERSIÓN	\$226,612,823				\$35,199,415					\$35,199,415			\$35,199,415
<b>FLUJO DE CAJA NETO</b>	<b>-\$226,612,823</b>	<b>\$37,156,822</b>	<b>\$37,156,822</b>	<b>\$37,156,822</b>	<b>\$1,757,407</b>	<b>\$37,156,822</b>	<b>\$37,156,822</b>	<b>\$37,156,822</b>	<b>\$1,757,407</b>	<b>\$37,156,822</b>	<b>\$37,156,822</b>	<b>\$37,156,822</b>	<b>\$1,757,407</b>
Valor actual	-\$226,612,823	\$33,778,929	\$30,708,117	\$27,916,470	\$1,200,333	\$23,071,463	\$20,974,057	\$19,067,325	\$819,843	\$15,758,120	\$14,325,563	\$13,023,239	\$559,964
VA acumulado	-\$226,612,823	-\$192,833,895	-\$162,125,778	-\$134,209,307	-\$133,008,975	-\$109,937,512	-\$88,963,455	-\$69,896,130	-\$69,076,287	-\$53,318,167	-\$38,992,604	-\$25,969,365	-\$25,409,401

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850	\$9,390,850
\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972	\$27,765,972
			\$200,000					\$200,000				\$200,000
			\$35,199,415					\$35,199,415				\$35,199,415
\$37,156,822	\$37,156,822	\$37,156,822	\$1,757,407	\$37,156,822	\$37,156,822	\$37,156,822	\$1,757,407	\$37,156,822	\$37,156,822	\$37,156,822	\$37,156,822	\$1,757,407
\$10,763,008	\$9,784,552	\$8,895,048	\$382,463	\$7,351,279	\$6,682,981	\$6,075,437	\$261,227	\$5,021,023	\$4,564,566	\$4,149,605	\$178,422	\$3,429,426
-\$14,646,393	-\$4,861,841	-\$4,033,207	\$4,415,670	\$11,766,949	\$18,449,930	\$24,525,367	\$24,786,595	\$29,807,617	\$34,372,183	\$38,521,788	\$38,700,210	\$42,129,636

VAN	\$42,129,636
TIR	12.5%
PRI (años)	14.5