

Universidad
Autónoma
Metropolitana



Casa abierta al tiempo Azcapotzalco

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE LUMINARIA ALIMENTADA POR ENERGÍA EÓLICA - SOLAR

Espinosa Suárez Mario Alejandro

ICR para optar por el Grado de Maestro en Diseño

Maestría en Diseño y Desarrollo de Productos

Miembros del Jurado:

Dr. Miguel Arzate Pérez

Director

Dr. Juan Carlos Olivares Galván

Codirector

Mtro. Sergio Dávila Urrutia

Mtro. Manuel Gordon Sánchez

Dr. Rodrigo Ramírez Ramírez

Ciudad de México, Noviembre de 2018

Dedicatoria.

Dedico este documento a las personas que desean vivir en un mundo mejor y menos contaminado, así como a las que vendrán en un futuro a quienes les espero poder entregar un planeta más limpio.

Agradecimientos.

Agradezco a la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco por darme la oportunidad de desarrollar este proyecto el cual busqué realizar desde hace varios años. Agradezco también a mis profesores del posgrado, coordinadores y personal de apoyo que contribuyeron a la realización de este proyecto.

Al Dr. Miguel Arzate Pérez por su apoyo y supervisión para realizar este proyecto, por sus conocimientos y aportaciones en el área de energías renovables y medio ambiente, así como por facilitarme parte del material y equipo para la realización del proyecto.

Al Dr. Juan Carlos Olivares Galván quien estuvo siempre al pendiente del proyecto, también por facilitarme las instalaciones del laboratorio "Laplace" donde realicé varias de las pruebas eléctricas.

Al Dr. Marco Ferruzca Navarro por haberme brindado el apoyo para realizar el viaje al estado de Oaxaca.

A la Dra. Gloria Castorena quien me facilitó amablemente las instalaciones del túnel de viento de tal modo que sin este no hubiese sido posible llevar a cabo este proyecto.

Al Mtro. Rafael Dorrego y al Dr. Orlando Lastres de la UNISTMO en Oaxaca por apoyarme para la realización de las pruebas en campo.

Al Mtro. Manuel Gordon por sus vastas enseñanzas en el campo de la energía eólica y fotovoltaica.

A mi madre la Mtra. Marta Suárez quien me ha brindado todo su apoyo y cariño que ha sido uno de los más poderosos motivadores.

A mis maestros espirituales G.I. Gurdieff y Martin Aparicio quien debido a sus enseñanzas de vida me ayudaron a crear la fuerza para vencer los obstáculos internos.

A todos y cada una de las personas que se convirtieron en mis aliados para triunfar en este proyecto.

Al planeta Tierra por brindarme la inspiración para mantener su belleza infinita.

“La tierra proporciona lo suficiente para satisfacer las necesidades de cada hombre, pero no la codicia de cada hombre.”- Gandhi.

Resumen.

En este trabajo se describen las distintas etapas del proceso de diseño de una luminaria que funciona con energía eólica y energía solar, de manera que fue concebida según los requerimientos del contexto, y partiendo de esto se determinan los requerimientos de ingeniería. Este proyecto es continuación de mi proyecto terminal de licenciatura titulado “Análisis experimental de una turbina ciclo-giro con perfil de geometría variable”.

Se llevó a cabo un estudio cualitativo de las necesidades del contexto de aplicación en donde fue probada la luminaria, de esto se determinan los requerimientos de diseño los cuáles serán las directrices para llevar a cabo el diseño de la luminaria. Además, se hizo una simulación en el software Qblade de las variables aerodinámicas para distintos tamaños del rotor, así como en dos configuraciones del intradós la primera hacia afuera y la segunda hacia adentro, para así determinar el tamaño y la configuración donde se obtenga mayor potencia. También se plantea el diseño del sistema de arranque para bajas velocidades de viento.

Se hicieron pruebas a varios generadores eléctricos para elegir el que presente un mejor desempeño en la curva de potencia a bajas revoluciones por minuto, además se describen los ensayos de caracterización del mismo. Se analizó experimentalmente la fuente de generación de energía eólica bajo condiciones controladas empleando el túnel de viento del laboratorio de Bioclimática de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Así mismo, también se realizó un estudio experimental con la celda fotovoltaica.

Por último, se realizaron pruebas del prototipo en el contexto del Istmo de Tehuantepec analizando su funcionamiento bajo condiciones reales, este lugar es idóneo debido a la falta de la infraestructura eléctrica en determinadas zonas y al abundante recurso eólico y solar. Se encontró que el rotor eólico entrega más potencia a mayor diámetro, y que el conjunto de celda fotovoltaica y turbina eólica diseñado es idóneo y suficiente para que se mantenga cargada la batería del sistema y encienda una lámpara LED de 12 W durante toda la noche.

Abstract.

This paper describes the different stages of the design process of a luminaire that works with wind energy and solar energy, which was designed according to the requirements of the context, and based on this, the engineering requirements are determined. This project is continuation of my final degree project titled "Experimental analysis of a gyromill wind turbine with variable geometry profile".

A qualitative study of the needs of the application context where the luminaire will be tested was carried out, from this the design parameters are determined, which will be the guidelines to carry out the design of the luminaire. In addition, a simulation of the aerodynamic variables was made in the Qblade software on different sizes of the rotor and in two configurations of the intrados towards the outside and towards the inside, in order to determine the size and configuration where greater power is obtained. The design of the start system for low wind speeds is also considered.

Several electric generators were tested to choose the one with the best performance in the power curve at low revolutions per minute, and the characterization tests are described. The source of wind energy generation under controlled conditions was analyzed experimentally using the wind tunnel of the Bioclimatic Laboratory of the Autonomous Metropolitan University (UAM). Likewise, an experimental study was also carried out with the photovoltaic cell.

Finally, tests of the prototype were carried out in the context of the Isthmus of Tehuantepec analyzing its operation under real conditions, this place is ideal due to the lack of electrical infrastructure in certain areas and the abundant wind and solar resource. It was found that the wind rotor provide more power to a larger diameter, and that the set of photovoltaic cell and wind turbine designed is suitable and sufficient to keep the battery of the system charged and turn on a 12 W LED lamp throughout the night.

Resumen.....	I
Abstract.....	II
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE DIAGRAMAS.....	XV
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	XV
Introducción.....	1
1. CAPÍTULO I.....	3
1.1. <i>Definición del Problema.....</i>	4
1.2. <i>Hipótesis.....</i>	4
1.3. <i>Objetivos.....</i>	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4. <i>Justificación.....</i>	5
1.5. <i>Antecedentes.....</i>	6
1.5.1 Tipos de aerogeneradores.....	8
1.5.2 Aerogeneradores de eje horizontal.....	8
1.5.3 Aerogeneradores de eje vertical.....	10
1.5.4 La turbina Darrieus.....	12
1.5.5 La turbina Savonius.....	13
1.5.6 Híbridos de turbina.....	13
1.5.7 Luminarias eólicas e híbridas para aplicaciones urbanas.....	14
1.5.8 Luminarias híbridas UAM Azcapotzalco.....	15
1.5.9 Caso luminarias solares carretera Tehuantepec-Salina Cruz.....	17
1.5.10 Mecanismo de par de arranque (sistema de arranque).....	19
1.5.11 Turbina eólica Xadany.....	19

1.5.12	Hallazgos importantes por mejorar en el proyecto “Xadany”	20
1.5.13	Energía solar fotovoltaica.	21
1.6.	<i>Marco conceptual</i>	23
1.6.1	Prototipo.	23
1.6.2	Prototipo no funcional.....	23
1.6.3	Prototipo funcional.....	23
1.6.4	Energía eólica.	23
1.6.5	Luminaria.	24
1.6.6	Clasificación de luminarias.	24
1.6.7	Alumbrado público.	26
1.6.8	Iluminancia.	26
1.6.9	Deslumbramiento.....	26
1.6.10	Perfil aerodinámico.	27
1.6.11	Irradiación solar.	27
1.6.12	Corriente Directa (CD).	27
1.6.13	Corriente Alterna (CA).	27
1.6.14	Coeficiente de potencia (Cp).	27
1.6.15	Estudio etnográfico.	27
1.7.	<i>Marco contextual</i>	27
1.7.1	Condiciones de vida en el Istmo de Tehuantepec.	30
1.7.2	Geografía y clima.	31
1.7.3	Aspecto económico.	31
1.7.4	Aspecto social.	32
1.7.5	Caso particular de estudio.	33
2.	CAPÍTULO II	36
2.1.	<i>Requerimientos de diseño</i>	37
2.2.	<i>Estudio técnico</i>	38
2.2.1	Características técnicas resumidas de las turbinas, paneles solares, luminarias, postes y contenedores de baterías analizados.....	44
2.2.2	Propuesta de diseño.....	46

2.3.	<i>Investigación etnográfica</i>	46
2.3.1	Investigación sobre los requerimientos de diseño.	46
2.3.2	Parte 1. Sondeo cultural (<i>cultural probe</i>) en el fraccionamiento “La Noria”	46
2.3.3	Parte 2. Entrevista etnográfica.	48
2.3.4	Perfil de usuario típico.....	50
2.3.5	Parte 3. “Insights” o hallazgos.	53
2.3.6	Parte 4. Hoja de ruta.	55
2.3.7	La necesidad más urgente de la población respecto a iluminación (avenida, calle, parque, etc.)	57
2.3.8	Principios de diseño.....	57
2.4.	<i>Aspectos humanos</i>	59
2.4.1	Color.	59
2.4.2	Estética (forma).	60
2.4.3	Acabados.	60
2.4.4	Uso de la celda solar.	60
2.4.5	Materiales.....	61
2.4.6	Forma.	61
2.4.7	Ergonomía visual.	61
2.4.8	Mantenimiento sencillo.....	62
2.4.9	Interacción del usuario pasivo con el producto (transeúnte).....	62
2.4.10	Interacción del usuario activo con el producto (personal de mantenimiento).	63
2.4.11	Proyecto a futuro.....	63
3.	CAPÍTULO III	66
3.1.	<i>Elementos que conformarán la luminaria</i>	67
3.1.1	Lámpara led.....	67
3.1.2	Fuente de energía- turbina eólica	70
3.1.3	Diseño del rotor de eje vertical tipo ciclo-giro.	70
3.1.4	Simulación aerodinámica del perfil.	74
3.1.5	Simulación aerodinámica del rotor por el método DMS.	75
3.1.6	Simulación LLT (lifting line theory).	76
3.1.7	Sistema de arranque.....	78

3.2.	<i>Panel solar fotovoltaico.</i>	78
3.3.	<i>Generador eléctrico.</i>	80
3.3.1	Tipos de generadores.	80
3.3.2	Selección del generador eléctrico.	81
3.3.3	Metodología de experimentación.	83
3.3.4	Análisis de resultados de las pruebas a los generadores.	84
3.4.	<i>Sistema de carga.</i>	85
3.5.	<i>Batería.</i>	86
3.5.1	Accionamiento de la lámpara.	89
3.6.	<i>Diseño final de la luminaria eólico-solar.</i>	89
3.7.	<i>Aportes al diseño.</i>	93
4.	CAPÍTULO IV	95
4.1.	<i>Construcción del prototipo escala 1:1.</i>	96
4.2.	<i>Especificaciones de producción.</i>	100
4.2.1	Proceso de armado de la luminaria.	100
4.2.2	Proyecto de fabricación.	101
4.2.3	Producción de la luminaria.	102
4.3.	<i>Pruebas del prototipo de luminaria en condiciones controladas.</i>	102
4.3.1	Instalación de la luminaria dentro del túnel.	104
4.3.2	Prueba piloto del rotor eólico en condiciones ideales.	105
4.3.3	Solución al problema de flexión del aspa.	106
4.3.4	Pruebas del prototipo en condiciones controladas.	106
4.3.5	Prueba 1: Fuente energética eólica y solar- Acumulación de energía de la fuente solar y eólica.	106
4.3.6	Prueba 2. Torque y potencia mecánica.	110
4.3.7	Pruebas del prototipo en condiciones reales.	116
4.3.8	Azotea del laboratorio de Ciencias de la Energía Eólica de la UNITSMO.	116
4.3.9	Prueba piloto de la luminaria en condiciones reales.	118
4.3.10	Prueba 3. Fuente energética eólica y solar (diámetro del rotor 1.15 m).	120
4.3.11	Prueba en sitio alternativo al fraccionamiento La Noria.	123

5. CAPÍTULO V	126
5.1. <i>Proyecto de iluminación del fraccionamiento la Noria</i>	127
5.1.1 Cálculo de luminarias a utilizar.....	130
5.2. <i>Análisis de costos de y vida útil del proyecto</i>	131
5.3. <i>Instalación de la luminaria</i>	132
5.4. <i>Cálculo del costo del kWh</i>	135
5.4.1 Vida útil de los elementos de mayor desgaste.....	135
5.4.2 Vida útil de panel fotovoltaico.....	135
5.4.3 Vida útil del generador eléctrico.....	136
5.4.4 Vida útil de la lámpara.....	136
5.4.5 Vida útil de la batería.....	136
5.5. <i>Proceso de mantenimiento</i>	139
5.5.1 Comparativa contra una luminaria convencional.....	142
5.5.2 Análisis luminaria híbrida contra luminaria convencional.....	145
5.5.3 Beneficio social que resultaría en caso de aplicar el proyecto de iluminación en el fraccionamiento “La Noria”.....	147
5.5.4 Beneficio ambiental que resultaría en caso de aplicar el proyecto de iluminación en el fraccionamiento “La Noria”.....	147
5.6. <i>Conclusiones</i>	148
5.7. <i>Bibliografía</i>	152
5.8. <i>Referencias de imágenes</i>	154
ANEXO A.....	157
ANEXO B.....	162
ANEXO C.....	163
ANEXO D.....	164
ANEXO E.....	165
5.9. <i>Currículum vitae</i>	166

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Molino de viento tradicional.	7
Figura 2. Representación del eje de giro de los aerogeneradores de eje horizontal.....	8
Figura 3. Rotores eólicos de eje horizontal.....	9
Figura 4. Ilustración del eje de giro de los aerogeneradores de eje vertical.....	10
Figura 5. Rotores eólicos de eje vertical.....	11
Figura 6. Turbina tipo Darrieus con curva tipo Troposkien de 5m de diámetro.	12
Figura 7. Rotores Savonius.....	13
Figura 8. Híbrido de turbina eólica Darrieus combinando rotores Savonius para facilitar el arranque.	13
Figura 9. Lámpara eólica para exteriores, casa de diseño holandés, Demakersvan, Holanda.	14
Figura 10. Luminaria modelo Kazegamome de la compañía Hybridyne Power Systems, Canadá.	14
Figura 11. Luminarias híbridas, Duxlite, China.	15
Figura 12. Luminarias híbridas ubicadas en la plaza COSEI y en la entrada del estacionamiento de la UAM Azcapotzalco.	15
Figura 13. Registro de concreto para albergar las baterías de luminarias UAM Azc.	16
Figura 14. Luminarias con paneles fotovoltaicos colocadas a lo largo de varios kilómetros de la carretera Tehuantepec- Salina Cruz A. Acercamiento, B. vista de conjunto frontal y C. vista de conjunto posterior.	18
Figura 15. Colapso de una luminaria con panel fotovoltaico debido a los fuertes vientos.....	19
Figura 16. Prototipo de turbina eólica “Xadany”.....	21
Figura 17. Ilustrando a la izquierda la celda de un panel policristalino, y a la derecha una celda de un panel mono cristalino.	22
Figura 18. Ilustración de una central eólica.	24

Figura 19. Clasificación CIE según la distribución de la luz.....	25
Figura 20. Planos de simetría de distintas luminarias.....	25
Figura 21. Mapa del potencial eólico en México (SENER, IIE. 2012).....	29
Figura 22. Mapa de irradiación solar global anual en México (SENER, IIE. 2012).....	29
Figura 23. Región del Istmo de Tehuantepec en el estado de Oaxaca, México.....	30
Figura 24. Participación por sector económico en el corredor transístmico.	32
Figura 25. Contexto de aplicación específico, fraccionamiento “La Noria, Tehuantepec Oaxaca”.....	35
Figura 26. Calles con deficiente iluminación del fraccionamiento “La Noria”, Tehuantepec, Oaxaca.	35
Figura 27. Primera propuesta de luminaria en base a los parámetros técnicos de diseño.	46
Figura 28. Hallazgos obtenidos.....	53
Figura 29. A la izquierda se puede ver una casa del fraccionamiento “La Noria” y a la derecha la propuesta de uso de colores que se uso en el proyecto “Xadany” y que pueden ser aplicados a la luminaria.....	59
Figura 30. Tubo que sostiene a la celda fotovoltaica y a la lámpara que lleva reforzamiento estructural. .	61
Figura 31. Posible tramo de calle a iluminar.	68
Figura 32. Lámpara led seleccionada de 12 W de potencia.....	68
Figura 33. Curva fotométrica para la luminaria modelo Cobra 12 W.	68
Figura 34. Sección transversal del túnel de viento del laboratorio de arquitectura bioclimática.....	71
Figura 35. Partes de un perfil aerodinámico: cuerda, intradós y extradós.....	73
Figura 36. Perfil aerodinámico serie NACA 6524	74
Figura 37. A la izquierda intradós hacia afuera, a la derecha intradós hacia adentro.	75
Figura 38. Sistema de arranque basado en captadores Savonius colocados en los brazos de las aspas (Transparencia).....	78

Figura 39. Celda fotovoltaica marca “master”	80
Figura 40. A la izquierda se puede apreciar la fijación del brazo de la celda al poste mediante remaches, a la derecha la bisagra que permite variar el ángulo de inclinación de la celda.	80
Figura 41. Partes básicas de un generador eléctrico DC de imanes permanentes.....	81
Figura 42. A la izquierda símbolo eléctrico para un generador eléctrico de CD y a la derecha símbolo para un generador CA trifásico respectivamente.	81
Figura 43. Circuito para medir el voltaje (V) y la Corriente (A) de los tres generadores candidatos	83
Figura 44. Controlador de carga elegido.....	86
Figura 45. A la izquierda se muestra una transparencia donde se encuentra albergado generador eléctrico, el sistema de carga y la batería albergados dentro del compartimiento de la base. En la figura de la derecha está la compuerta con bisagras y cerradura de seguridad.	88
Figura 46. Diseño final en vista isométrica de la luminaria incluyendo la base de concreto donde se anclará.	90
Figura 47. Vistas frontal (A), lateral derecha(C), lateral izquierda (B) y superior (D) del diseño final de la luminaria.....	91
Figura 48. Fotomontaje de la luminaria sobre un escenario real.....	92
Figura 49. A la izquierda se puede ver el rotor eólico con el sistema de captación y a la derecha el aspa separada con el mismo sistema.....	93
Figura 50. A la izquierda se puede ver el rotor eólico con el sistema de captación y a la derecha el aspa separada con el mismo sistema.....	94
Figura 51. A la izquierda se puede ver el rotor eólico con el sistema de captación y a la derecha el aspa separada con el mismo sistema.....	94
Figura 52. Vista frontal y lateral derecha de la luminaria ensamblada.	100
Figura 53. Túnel de viento del laboratorio de arquitectura bioclimática (izquierda) y la tobera de entrada del túnel (derecha).	104

Figura 54. A la izquierda se puede ver el barrenado que se hizo al piso para realizar la fijación, a la derecha se observa la base montada con la reducción de tamaño del poste original.....	104
Figura 55. Rotor de la turbina eólica montada dentro del túnel de viento.....	105
Figura 56. Aspa que sufrió el accidente al tocar una pared de túnel.....	105
Figura 57. Colocación de cables en los extremos del aspa y en el extremo superior del eje para dar mayor rigidez estructural.....	106
Figura 58. Elementos del circuito eléctrico necesarios para la prueba 5.....	107
Figura 59. Montaje del freno prony en el eje del rotor eólico.....	113
Figura 60. A la izquierda se puede observar la azotea del laboratorio de ciencias de la energía eólica de la UNISTMO, a la derecha el anemómetro con el que se medirá la velocidad de viento.....	117
Figura 61. A la izquierda- Tablero de instrumentos y controlador de carga conectados a la luminaria eólico-solar. A la derecha- computadora donde se pueden ver las lecturas entregadas por la estación meteorológica.....	118
Figura 63. Luminaria después de la prueba piloto de resistencia por una semana.....	118
Figura 63. Luminaria eólico-solar colocada en el techo del laboratorio de ciencias de la energía eólica con el diámetro del rotor original (1.15m)	121
Figura 64. Lámpara de la luminaria eólico-solar en prueba de 11 horas de funcionamiento continuo dentro del laboratorio.	122
Figura 65. Casa de prueba del municipio de Tehuantepec.	123
Figura 66. Luminaria instalada en una casa de Tehuantepec, Oax. (a la izquierda vista posterior, a la derecha vista inferior).....	124
Figura 67. Luminaria instalada en una casa de Tehuantepec, Oax. (vista en perspectiva).	124
Figura 68. Luminaria instalada en una casa de Tehuantepec.	125
Figura 69. Luminaria funcionando durante la noche en casa del Barrio Guichivere, en Tehuantepec, Oax.	125

Figura 70. Mapa del Fraccionamiento “La Noria”, indicando en color rojo, amarillo y verde el orden de carencia de iluminación y ocurrencia de delitos respectivamente.	128
Figura 71. Zonas con deficiente iluminación ubicado sobre las vías del tren a la izquierda y a la derecha al fondo del fraccionamiento, en donde según los encuestados han ocurrido incidentes delictivos.	128
Figura 72. Zonas con iluminación suficiente pero que sería recomendable reforzar con más iluminación.	129
Figura 73. Zona con suficiente iluminación ubicada a la entrada del fraccionamiento en donde casi no se han registrado incidentes delictivos según información de los encuestados.	129
Figura 74. Plano en vista superior de la distribución de luminarias en “tresbolillo” en una calle, en el círculo se ilustra el área que es capaz de iluminar cada lámpara (Unidades en metros).	130
Figura 75. Luminaria instalada en la base de concreto (a la izquierda) y tuerca anti-robo (a la derecha).	131
Figura 76. Ejemplo de fijación de una luminaria a la base de concreto.	132
Figura 77. Ejemplo de izamiento con grúa en la UAM Azcapotzalco.	133

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Capacidad promedio de mini turbinas eólicas en 2010 de China, Estados Unido y Reino Unido. .	1
Tabla 2. Características de algunos rotores eólicos de eje horizontal.	10
Tabla 3. Características de algunos rotores eólicos de eje vertical.	12
Tabla 4. Características de los paneles solares mono cristalinos y policristalinos.	22
Tabla 5. Clasificación de las características eléctricas de la lámpara según la protección eléctrica.	26
Tabla 6. Características técnicas resumidas de los distintos modelos de turbinas eólicas de eje vertical tipo Darrieus.	39
Tabla 7. Características técnicas resumidas de los distintos modelos de turbinas eólicas de eje vertical tipo Savonius.	40

Tabla 8. Características técnicas de una turbina eólica de eje vertical híbrida (Darrieus combinado con Savonius).	40
Tabla 9. Características técnicas resumidas de las turbinas eólicas de eje horizontal.	41
Tabla 10. Características técnicas resumidas de los dos tipos de celdas fotovoltaicas.	41
Tabla 11. Características técnicas resumidas de los distintos modelos de luminarias.....	42
Tabla 12. Características resumidas de los distintos modelos de postes y soportes para la luminaria y sistema de generación.	43
Tabla 13. Tipos de contenedores de baterías para las luminarias aisladas de la red.	44
Tabla 14. Características técnicas resumidas de las turbinas, paneles solares y luminarias postes y contenedores de baterías analizados.	45
Tabla 15. Componentes del sondeo cultural (Cultural Probe).	48
Tabla 16. Hallazgos de la investigación etnográfica ordenados por categoría.....	54
Tabla 17. Características eléctricas de la lámpara LED.	69
Tabla 18. Valores de entrada para simular el rotor eólico.	71
Tabla 19. Datos anuales de viento promedio de la Noria, Oax.....	72
Tabla 20. Valores de la simulación aerodinámica del perfil NACA 6424 a un ángulo de inclinación de 6° y un número Re= 700 00.	75
Tabla 21. Valores máximos para cada configuración según la simulación del rotor bajo condiciones teóricas en la simulación DMS (extradós hacia adentro=e. adentro y el extradós hacia fuera= e. afuera).....	76
Tabla 22. Valores de potencia mecánica para tres tamaños de cuerda y configuraciones del rotor	77
Tabla 23. A la izquierda Potencia mecánica en el eje calculada por la simulación DMS y a la derecha simulación LLT (<i>lifting line theory</i>).....	78
Tabla 24. Irradiación solar en Salina Cruz, Oaxaca (datos en kWh/m ² por día).....	79

Tabla 25. Rango de valores de la velocidad específica de borde de acuerdo con los resultados obtenidos del software Qblade.	82
Tabla 26. Generadores eléctricos candidatos para usarse en el rotor eólico.	83
Tabla 27. Potencia eléctrica del generador 1 a RPM de trabajo del rotor eólico y en el renglón de abajo los datos de RPM del rotor simulado en Qblade.	85
Tabla 28. Características de la batería OSONIX DE 18 Ah.	87
Tabla 29. Tabla de materiales, costos y procesos de manufactura para la base, el poste y el eje.	97
Tabla 30. Tabla de materiales, costos y procesos de manufactura para el aspa y la cubierta de la base.	98
Tabla 31. Tabla de materiales, costos y procesos de manufactura para el hub, la lámpara, el panel fotovoltaico, el generador eléctrico y el sistema de carga.	99
Tabla 33. Especificaciones técnicas de la luminaria híbrida (eólico-solar).	115
Tabla 34. Alternativas de aumento de diámetro del rotor.	120
Tabla 35. Resultados obtenidos en la prueba 3 (Fuente energética eólica y solar con diámetro del rotor 1.15 m).	120
Tabla 36. Acumulación de energía para las tres configuraciones del rotor.	121
Tabla 37. Energía producida en promedio a lo largo de distintos periodos de tiempo con el aumento del diámetro del rotor a 1.15 m.	122
Tabla 38. Estimación de vida útil de los elementos que sufren mayor deterioro.	136
Tabla 39. Número de recambio de partes en la vida útil de la luminaria.	137
Tabla 40. Elementos de revisión en servicios de mantenimiento.	138
Tabla 41. Costos de la luminaria híbrida.	141
Tabla 42. Costos del proyecto de instalación de luminarias híbridas en el fraccionamiento “La Noria” ...	142
Tabla 43. Costos de la luminaria convencional.	144
Tabla 44. Costos del proyecto de iluminación “La Noria”.	145

ÍNDICE DE DIAGRAMAS.

Diagrama 1. Hoja de ruta – Proceso de interacción sujeto-objeto con la luminaria.....	56
Diagrama 2. Diagrama de conexión de la celda fotovoltaica, turbina eólica, batería y controlador de carga.	88

ÍNDICE DE GRÁFICAS.

Gráfica 1. Potencia contra RPM para los tres generadores.....	84
Gráfica 2. Tiempo contra Potencia eléctrica para la prueba 4.	109
Gráfica 3. Tiempo contra energía acumulada (W) para la prueba 4.	109
Gráfica 4. Tiempo contra Energía acumulada (Wh) para la prueba 4.	110
Gráfica 5. Velocidad de viento contra Torque para la prueba 6.....	112
Gráfica 6. Velocidad de viento contra Potencia mecánica.....	112
Gráfica 7. Coeficiente de potencia (Cp) contra Velocidad específica (λ).....	113
Gráfica 8. Comportamiento del la Vel. Viento contra RPM del rotor sin generador acoplado.	119

Lista de símbolos

C_p : Coeficiente de potencia

ρ : Densidad del aire

P : Potencia (W)

P_{\max} : Potencia mecánica máxima

V : Voltaje (Volts)

v : Velocidad de viento (m/s)

C : Cuerda del perfil aerodinámico (metros)

η : Eficiencia (%)

W : Watts

TSR ó λ : Relación de velocidad de borde (adimensional)

CD : Corriente directa

CA : Corriente alterna

r : Radio

R : Resistencia

ω : Velocidad angular (rad/seg)

Lm: Lúmenes

m : Metro

A : Amperes

a : Área

C_d : Coeficiente de arrastre

C_l : Coeficiente de sustentación

T : Torque

R_β : Valor promedio mensual de la irradiación diaria

E : Consumo eléctrico total

n : Revoluciones por minuto RPM

PD_{bat} : Profundidad de descarga de la batería

N : Newton

Introducción.

Hoy en día no se puede poner en tela de juicio la efectividad de las energías renovables tales como la energía eólica, debido a que está teniendo un crecimiento constante y sostenido en los aerogeneradores de gran capacidad, esto se debe a que hay una tendencia cada vez más grande hacia las energías renovables, a su demostrada efectividad, así como a su economía. También se puede decir que las fuentes provenientes de combustibles fósiles siguen en auge y probablemente seguirán así durante algunas décadas más, ya que cada vez se encuentran pozos petroleros más profundos, sin embargo, la preocupación por los altos niveles de CO₂ que se están generando, así como políticas gubernamentales en México dan pie a nuevas fuentes de energía como la energía solar y eólica y a una demanda creciente en el mercado de este tipo de productos.

En el informe sobre la prospectiva de energías renovables SENER (2012), menciona que:

En el año 2010, el uso de turbinas eólicas de pequeña escala superó las 656,000 unidades instaladas en el mundo (443.3 MW), 26% más respecto al año anterior. La capacidad total instalada ha crecido a una tasa promedio anual de 35% en el periodo 2001-2011 (p.33,34). Con esto podemos ver claramente que se está incrementando el uso de las energías renovables y en específico de las turbinas eólicas de pequeña escala en el mundo y que esta tendencia probablemente seguirá en aumento ya que la necesidad de electricidad en áreas rurales y el auge por el uso de tecnología renovables cada vez cobra más fuerza, también debido a que los componentes electrónicos del sistema como son los controladores de carga y los inversores de corriente son cada vez más baratos ya que países como China han abarcado este mercado. De acuerdo con este reporte se puede ver la capacidad promedio de cada mini turbina en China, Estados Unidos y Reino Unido, se muestran los datos en la **tabla 1**.

PAÍS	CAPACIDAD (kW)
China	0.37
Estados Unidos	1.24
Canadá	2

Tabla 1. Capacidad promedio de mini turbinas eólicas en 2010 de China, Estados Unidos y Reino Unido.

SENER (2012).

Es claro ver que China es uno de los mayores mercados para pequeñas turbinas eólicas, ya que tenían en el año 2011 un total de 450,000 unidades instaladas (SENER, 2012). Con esto se demuestra que el mercado de turbinas eólicas es un mercado rentable, pero que necesita del cambio cultural, de incentivos por parte del gobierno para que sean aceptados en más países.

En México en el mes de junio de 2012, el Congreso de la Unión expidió la Ley General de Cambio Climático, en la que se establece que: “La secretaría de energía en coordinación con la Comisión Federal de Electricidad promoverán que la generación eléctrica proveniente de fuentes de energía limpias alcance por lo menos 35% para el año 2024” (Ley general de cambio climático, 2012, p.43).

Por otro lado, las energías renovables siempre presentarán el inconveniente que dependerán del recurso energético y su disponibilidad, ya que la velocidad de viento es altamente variable. Sin embargo, la radiación solar presenta mayor constancia, aún así, un buen diseño de un aparato para generar energía renovable no puede depender de solamente una fuente energética, además es importante tener en cuenta el realizar un estudio previo del recurso energético del lugar para saber con certeza la disponibilidad de este. La motivación que me impulsa a realizar este proyecto es usar la energía que está disponible en la naturaleza de modo que sea convertida para el bien de la comunidad, como lo sería la iluminación en lugares públicos evitando así incidentes delictivos o accidentes. Así mismo las fuentes generadoras de energía como son el aerogenerador y la celda solar también se podrían usar para generar electricidad en casas o viviendas que no cuenten con suministro de la red eléctrica.

Comenzaré esta investigación con los antecedentes de distintas máquinas de generación de energía mediante el viento y haciendo una clasificación de estas, posteriormente presentaré la etapa del diseño de la luminaria y los requerimientos que intervinieron para su diseño, por último, explicaré la fase de pruebas que se realizaron a la luminaria tanto en condiciones ideales como en condiciones reales.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1. Definición del Problema.

La necesidad de energía eléctrica es una constante en la población de México, al ser el país cada vez más industrializado la necesidad de energía eléctrica se ha traducido en una necesidad básica para la vida moderna comparable al uso del agua.

Según el informe del Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN), instrumento que contiene la planeación del Sistema Eléctrico Nacional dice: "En el año 2015, el consumo nacional de energía eléctrica del SEN (Sistema Eléctrico Nacional) fue de 288 (GWh). Esto representó un incremento de 2.9% con respecto al año anterior. "(PRODESEN, 2015, P.53). Con estos datos se puede ver claramente que la necesidad de energía eléctrica se incrementará en los próximos años.

Se buscarán los métodos de diseño para llegar a un producto que cumpla con los requerimientos del contexto particular, y que de este modo se satisfagan las necesidades del usuario de la luminaria.

En el aspecto técnico existe el problema de que los aerogeneradores de eje vertical necesitan un impulso inicial para comenzar a girar, este problema ha sido resuelto con algunas alternativas, pero tienen el inconveniente el colocar captadores de viento del tipo Savonius de modo que al colocar estos captadores se frena el giro del rotor y pierde eficiencia, en este proyecto se buscará reducir estas pérdidas de eficiencia.

Se investigarán los métodos constructivos para llegar a un prototipo funcional que se probara con la finalidad de que genere electricidad y resuelva el problema de la alta demanda de energía eléctrica.

1.2. Hipótesis.

Una luminaria que tenga como fuentes energéticas el sol y el viento satisfará la necesidad de energía eléctrica necesaria para alimentar una luminaria de 12 W durante la noche (11 horas).

1.3. Objetivos.

1.3.1 Objetivo General.

Diseñar y construir una luminaria para exteriores que tenga como fuente de energía el viento y el sol.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Plantear el problema y proponer una hipótesis.
- Investigar los antecedentes de los sistemas eólicos
- Investigar los tipos de sistemas eólicos.

- Investigar la necesidad de iluminación del contexto.
- Determinar los parámetros de diseño.
- Diseñar la luminaria.
- Calcular las dimensiones del rotor eólico y un sistema para que arranque a una velocidad de al menos 6 metros por segundo.
- Probar en el software de simulación varias configuraciones de rotor y de cuerda del aspa buscando la configuración que entregue mayor potencia.
- Diseñar y calcular las dimensiones de la celda fotovoltaica.
- Seleccionar y probar el generador eléctrico.
- Construir el prototipo funcional.
- Probar el prototipo en el túnel de viento.
- Probar el prototipo en el contexto seleccionado.
- Redactar y comunicar los resultados de la investigación.

1.4. Justificación.

Actualmente México depende de fuentes convencionales de energía en su mayoría provenientes del petróleo y sus derivados, esto debido al abundante recurso petrolífero con el que cuenta el país, esto aunado a la gran encomia que hay en torno a esto hacen que su dependencia sea muy grande y que se dejen en segundo término a fuentes renovables como son la energía solar y eólica, sin embargo las políticas que tratan de frenar el cambio climático promueven estas fuentes, además de que está comprobada su factibilidad técnica y económica, es por esto que este proyecto busca contribuir a disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Otra motivación surge al observar que en México aún hay poblaciones que no cuentan con suministro de energía eléctrica y que si bien satisfacen sus necesidades energéticas sustituyéndolos en su mayoría con fuentes energéticas de biomasa como con la leña y el carbón, estas fuentes tienen el inconveniente de requerir de la tala de árboles, y por lo tanto a largo plazo puede resultar perjudicial para el entorno forestal, esto se suma a los inconvenientes de la contaminación generada al ambiente al hacer fogatas o inclusive el riesgo de provocar incendios forestales.

Otra causa por la que ciertas poblaciones no cuentan con suministro convencional de energía eléctrica es debido a que se encuentran apartadas de la red eléctrica al ser poblaciones demasiado pequeñas el costo de llevar la energía a esos lugares es muy alto y poco rentable.

Avia, F. (2014) Menciona que, dentro del área de los pequeños aerogeneradores para uso en sistemas aislados de la red eléctrica, en el que la dificultad intrínseca a las características de este mercado disperso y con escaso poder adquisitivo, ha retrasado notablemente el desarrollo y la madurez tecnológica, sobre

todo si lo comparamos con el progreso alcanzado por aerogeneradores de mayor tamaño. Hay que remarcar la enorme potencialidad de este mercado, en el que mundialmente aún hay más de 2000 millones de personas sin acceso a la red eléctrica, y en el que el modelo de generación distribuida mediante fuentes de energías renovables resulta la opción más viable y sostenible (Avia, F., 2014, p. 6).

Mientras que según lo que comenta Holm, D. & Arch, D. (2005) se puede ver la dependencia que tienen algunos países en vías de desarrollo de los combustibles basados en la biomasa como son la leña y el carbón vegetal, en países como África aún se usan en gran medida (90 %) los combustibles provenientes de la biomasa como son la leña, carbón vegetal y estiércol, estas fuentes además de generar contaminación pueden ser importante riesgo de incendio provocando daños a la salud y al ambiente.

En el aspecto económico se busca que este proyecto sea competitivo con los productos comerciales de características similares.

En el aspecto tecnológico se desarrolla este proyecto con la finalidad de impulsar el desarrollo de productos tecnológicos nacionales, que si bien este es solamente un prototipo puede dar pie a desarrollos posteriores hasta llevarlo a una etapa de comercialización para poder competir con países tecnológicamente más avanzados, debido a la falta de patentes nacionales se plantea contribuir a generar información tecnológica y de diseño en este proyecto.

Por estas razones se investigará la manera idónea de llevar a cabo esta luminaria, aplicando en el diseño una visión funcional y estética.

1.5. Antecedentes.

Desde la antigüedad se ha usado la fuerza del viento en beneficio de la humanidad, en barcos y en molinos principalmente, estos artilugios primitivos de origen egipcio para captar el viento y convertirlo en trabajo mecánico datan del siglo V y VI DC. Es así cómo se llegó al diseño tradicional de los molinos de viento, siendo predominantes en los países bajos de Europa.

Udj t pi í i g oi l i g pj g t

vóNváv, f &gú. Nváv” Aá lé, &gNvávvgvUÉv) &éónégNvén f vAvó2 U éóFNv(. óf CF
“éN óNv évU0vgvLéN. UóDvAVNv, &Zváv, éghNvNvNv(. ózOv1égóU8N. vgváv, hOáNv
vóf CF0LégNvFvgvávóAv, háv0éáóó. &8CvóNvAélvghvó1égóAvLéN. A. Uf Q. 1. éávNv hU ó
éU808 óógvf xéU. g. th N. óvóh óNv(. ó1égóéN. éáf vUÉN. f Q. 1éó“v, vóA. UónUNv(. ózOv
g. 1égóN. ó. f vN. óéAVxéóNvZg, &gáNv

Dgvf xéU. A. Nvf . óávóéUéávóf -zOgéó, éAvéN. LéóNvvgvUÉv) &évgN. ó0LégNvó0UA. óávó
f -zOgéóv) &éóón, &ávóéA. UávUghé, &gNvóOv. gUvAv, h éávNv, , &gNváv&gh

i g oi l i g pj g t pi í á aj gnj l é e

Cgvóh óvávNv0U vóAéAv éávógvéóNvNv, , &gNváv&gh. f . óvAVNv“vUvgvávnoJg



R0Ué vAvóvghé, &gNvávNv0U Nváv óévU0vgvLéN. UóNvvgv1. U. ghé

0CgéóNvávóNv“vghéóNv vóhA. Nv évU0vgvLéN. Uóó. g

- Dvvgv, vóéCgóóhf éNv f OAv, &gNváv“v, &NvNv0U Nváv h Uéá0vgvLéN. U
- Dv1égNv. éó. óNv f . UéNvNv“vóéAéóUé“wóNváv h U

Se pueden ver algunos de los tipos más representativos de rotores de eje horizontal en la **figura 3**.

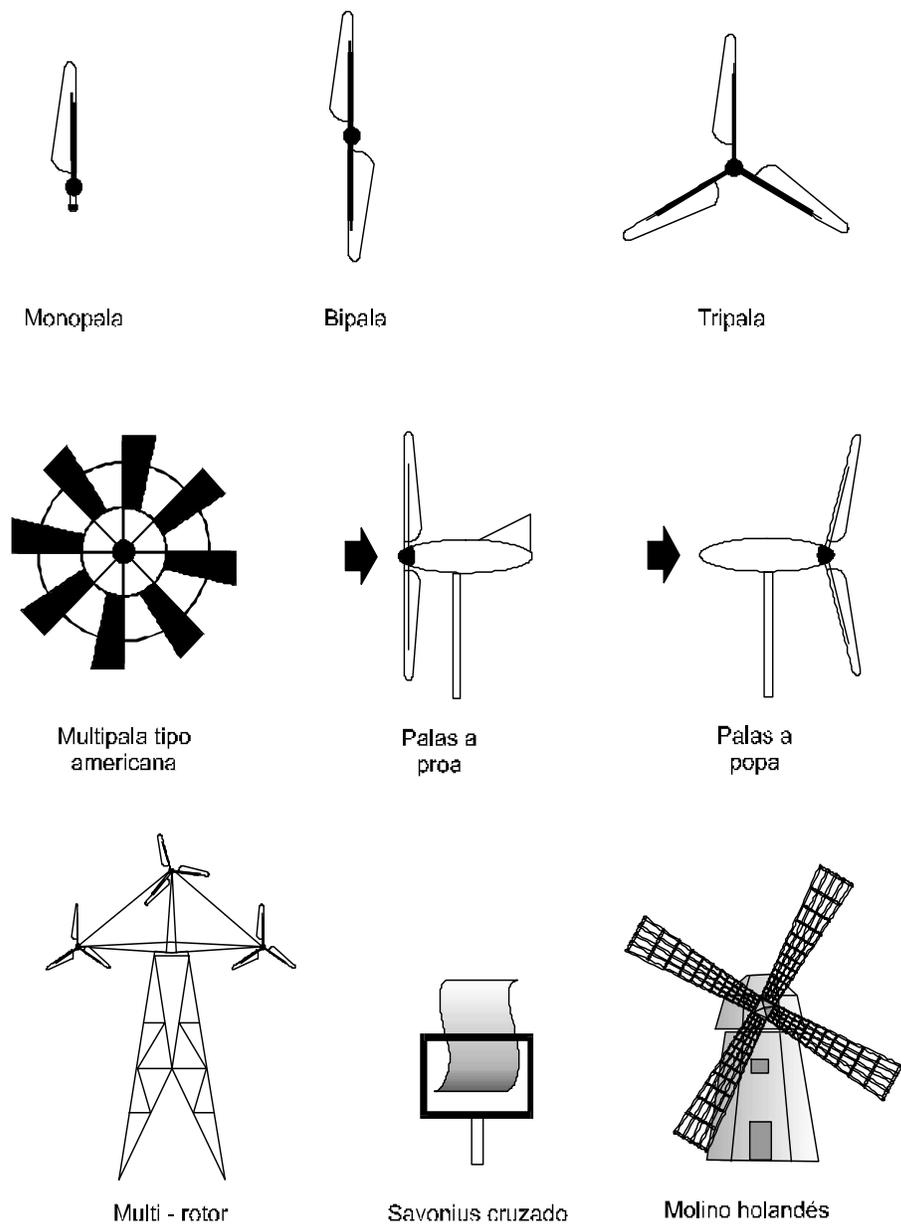


Figura 3. Rotores eólicos de eje horizontal.
(Alfaro, J. 2018)

□

□

□ **Q**géoN **á**ó, **é**lé, **h**U**B**éóí - **ó**N**w**é, **é**NéóN**á** **ó**éU **U**vgv**L**éN **U**óN**v**q **1. U**. **g**héáóN **A**O**N**vg **v**U**v**g **á**U**í** - **é** □□□□

□

□

□

□

□

□

□

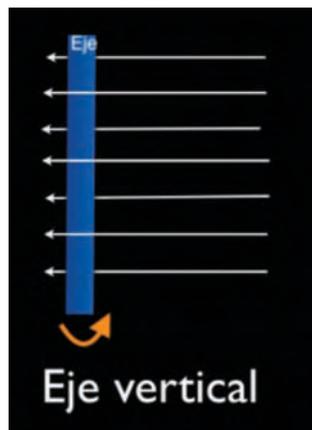
Cq	i A N U h U	nvg N &gh l - " g . □ A	é L é, h U B éóí
ad n rd G i e	I . á . a . á gN w ó	□□□□	□ á A éU N é U é gzO v í v á , g NéN w óí v N é ó I g v(. g v B &gh v N á ó A é á ó □ A é á ó
	I O á A é é é f v U é g . □	□□□□	□ á A éU N é U é gzO v í v á , g NéN w ó x é é ó I Q 1 éó A w U N é óN v g v U é I v □□□ é □□□ A é á ó
	M v U á v U N g- f g . v g á é A é á	□□□□	□ é q A éU N é U é gzO v □ á éó" v á , g NéN w ó □ á U v N g &gh □ I v □□ é □□□ A é á ó

i **é**x**á**□□□□ **é**lé, **h**U**B**éóíN**é**Q**g** . **ó**U**h** **U**ó**v**) **á** . **ó**N**v**q **1. U**. **g**héá□

□ **á**U □□□□□□□□

□□□□□□ **i** **g** **oi** **I** **g** **pj** **g** **t** **pi** **i** **á** **vi** **g**á**sí** **e**□□

□□□□ **C**g **v**ó**h** **A** . **N** **é**vU **U**vgv**L**éN **U**váU**h** **U**vó**A**v**U**vg**N**g **O**éU**é** **á**ó**á**g**v**éóN**v** **N**v , **g** **g** **N** **g**h □ . **f** . **ó**v□
AO**N**vg **v**U**v**g **á** **n**o**J**g □□□□



□

R**O**C**é**□□□□ **R**ó**H**é, **g** **g** **N**vá**v**q **N**v**O**U **N**v**á** **ó**éU **U**vgv**L**éN **U**óN**v**q **v**U**B** **é**á□

□

□

□

□

□

Los distintos tipos de rotores de eje vertical se aprecian en la **figura 5**.

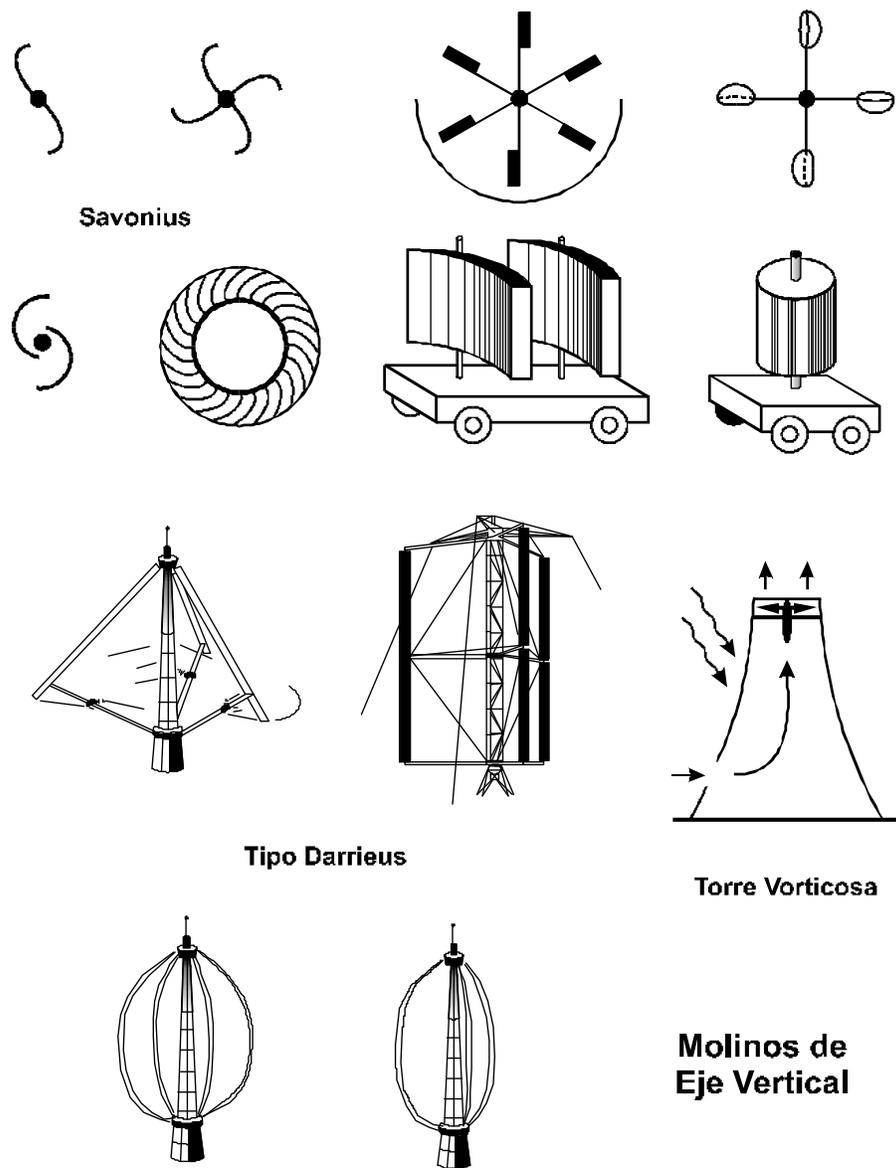


Figura 5. Rotores eólicos de eje vertical.
(Mírez, J. 2015)

En la **tabla 3** se pueden ver las características más destacadas de los rotores de eje vertical:

Eje	Tipo de rotor	Rendimiento Máximo Cp	Características
VERTICAL	Savonius	0.30	No requiere ser orientado Alto par de arranque Bajas velocidades De 2 a 4 palas
	Darrieus	0.35	No requiere ser orientado No arranca solo Altas velocidades Buen rendimiento De 2 a 3 palas

Tabla 3. Características de algunos rotores eólicos de eje vertical.

(Alfaro, J. 2016)

Dadas las ventajas de los aerogeneradores de eje vertical se optará por usar este tipo de diseño en este proyecto, dada su facilidad de construcción en comparación con aerogeneradores de eje horizontal ya que no es necesario el uso de un sistema de orientación, dicho sistema complica el diseño y eleva el costo.

Las turbinas eólicas de eje vertical se clasifican básicamente en dos tipos:

1.5.4 La turbina Darrieus.

Usa perfiles aerodinámicos en sus aspas de modo que actúan sobre estas las fuerzas de sustentación que impulsan el rotor y las fuerzas de arrastre que lo empujan, son comúnmente de forma ovoide, pudiendo ser también del tipo H o tipo Troposkien (ver **figura 6**), este es el tipo de rotor que se usará en este proyecto.



Figura 6. Turbina tipo Darrieus con curva tipo Troposkien de 5m de diámetro.

(Matysik, S. 2011)

1.5.5 La turbina Savonius.

Esta consiste en dos mitades de cilindro unidas y desfasadas una distancia específica, de modo que se provoca un momento de torsión en el extremo que este hueco mientras que en el otro hay una fuerza de empuje o arrastre (Ver **figura 7**).



Figura 7. Rotores Savonius

(Johnson, G. 2018)

1.5.6 Híbridos de turbina.

En este diseño se combinan las ventajas de la eficiencia de los rotores tipo Darrieus en los que las fuerzas de sustentación actúan en los perfiles aerodinámicos de las aspas, haciendo que estos giren a muy altas velocidades, sin embargo, estos tienen el problema del arranque a bajas velocidades de viento, por lo que ante este problema algunos fabricantes implementan rotores Savonius acoplados al eje. Esta solución que da resultados positivos, pero provoca turbulencia dentro del rotor, afectando así la eficiencia del sistema a altas velocidades de giro y dando una estética oriental que nos recuerda las cúpulas de los antiguos palacios persas y de la India como lo podemos apreciar en la **figura 8**.



Figura 8. Híbrido de turbina eólica Darrieus combinando rotores Savonius para facilitar el arranque.

(Engelec. 2018)

1.5.7 Luminarias eólicas e híbridas para aplicaciones urbanas.

Estas son luminarias que fusionan la tecnología solar fotovoltaica con la energía eólica, dando como resultado un sistema híbrido. A continuación, se muestran algunos conceptos de luminarias de este tipo:

En la **figura 9** se puede ver un concepto de Holanda, este usa un rotor eólico tipo Savonius de gran tamaño.



Figura 9. Lámpara eólica para exteriores, casa de diseño holandés, Demakersvan, Holanda.

(Levesque, T. 2007)



Figura 10. Luminaria modelo Kazegamome de la compañía Hybridyne Power Systems, Canadá.

(Hybridyne Power Systems. 2008)

En el concepto de luminaria de la **figura 10** se conjuntan la celda solar y un rotor Savonius con torcimiento, este torcimiento facilita el arranque, cabe destacar que su diseño es compacto y minimalista.

La estética y la forma de la luminaria de la **figura 11** nos resulta más familiar en occidente, ya que conjuga en el mismo poste la luminaria, la celda solar fotovoltaica y una turbina eólica de eje horizontal.



Figura 11. Luminarias híbridas, Duxlite, China.

(Levesque, T. 2007)

1.5.8 Luminarias híbridas UAM Azcapotzalco.

En la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco (ver **figura 12**), en la Ciudad de México, en el año 2011 se instalaron 4 luminarias del tipo híbrido en varias áreas del campus, tres han sido instaladas en el área de estacionamientos y una en la plaza central de la biblioteca. Estas luminarias fueron instaladas por iniciativa del profesor Eduardo Campero Littlewood.

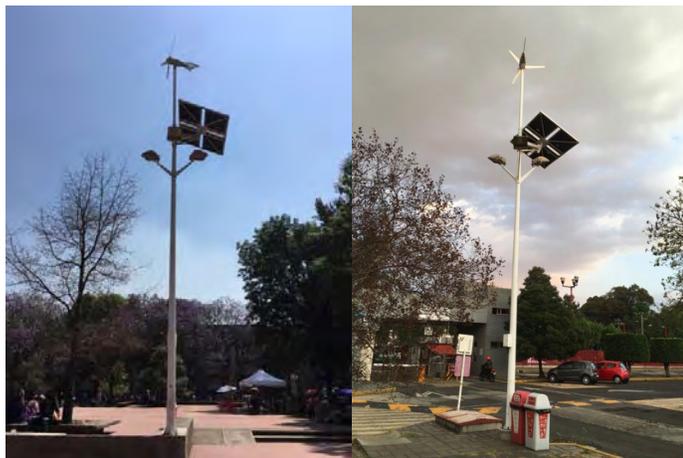


Figura 12. Luminarias híbridas ubicadas en la plaza COSEI y en la entrada del estacionamiento de la UAM Azcapotzalco.

Es importante resaltar que debajo de cada poste que sostiene al conjunto luminaria, generador y celda fotovoltaica se encuentra un compartimiento empotrado en el suelo, en el que se encuentran albergadas las baterías, dicho compartimiento mide aproximadamente $1 \times 1 \times 1 \text{ m}^3$ (largo, ancho y profundidad), (ver **figura 13**).



Figura 13. Registro de concreto para albergar las baterías de luminarias UAM Azc.

Por lo que en el diseño de la luminaria se puede considerar eliminar este compartimiento haciendo un sistema más compacto de modo que se evite el hacer una obra civil más allá de la base de cimentación.

Se cita en el boletín electrónico de la UAM:

En el año 2010 (Vázquez, R. L., 2017) dentro de las líneas de acción que comprende el Plan Institucional hacia la Sustentabilidad (PIHASU) de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (UAM-A) se instalaron cuatro luminarias híbridas que representan una alternativa innovadora que transforma energía eólica y solar en eléctrica para ser utilizadas en cargar un banco de baterías que alimentan lámparas de LED. Con la idea de probar este tipo de luminarias se colocaron tres en el estacionamiento y una en la plaza de la Biblioteca, cada luminaria tiene tres lámparas de 672 LED's que demandan 30 W. Las luminarias tienen varios subsistemas: un generador de 300 W impulsado por viento, cuatro celdas fotovoltaicas de 85 W cada una, cuatro baterías de 12V para el almacenamiento de energía y un sistema de control para el encendido y apagado de las lámparas (Vázquez, R. L., 2017).

Las características de la luminaria son:

- 4 paneles solares mono/policristalinos de 85 W cada uno.
- 4 baterías de 12 V y 100 Ah.
- 1 controlador de carga 24 V a 5 A.
- 1 poste de acero al alto carbón.
- 3 lámparas de 30 W cada una.
- 1 turbina eólica de 300 W de imanes permanentes.
- Velocidad aproximada de arranque de la turbina 8 metros por segundo.
- Precio por unidad sin instalar \$7,653 USD (\$107,142 MXN, según el tipo de cambio peso-dólar del año 2011 a 14 pesos mexicanos por dólar).

Respecto a la ubicación de las luminarias comenta el profesor Eduardo Campero:

“La ubicación se decidió en función del deseo de cambiar las lámparas más alejadas de los tableros eléctricos. La longitud de los cables impacta directamente las pérdidas eléctricas. Se hicieron mediciones de la velocidad del viento y se determinó que las lámparas cercanas a la puerta del estacionamiento cumplían con ambos criterios. Además, están ubicadas en un lugar donde se requiere iluminación durante toda la noche.” (E. Campero, correo electrónico, 26 de marzo del 2018).

Por lo que se puede observar las aspas de los aerogeneradores funcionan a velocidades de viento altas y normalmente son más activos en los meses de enero y febrero, meses donde la velocidad de viento es alta en la Ciudad de México. Las velocidades de arranque son velocidades de viento superiores a los 8 m/s, estas velocidades de viento son muy poco frecuente en la ciudad. Por lo que en el diseño se contempla este factor cómo determinante. Además, también se contemplará hacerla a un costo más accesible sin sacrificar la calidad del producto.

1.5.9 Caso luminarias solares carretera Tehuantepec-Salina Cruz.

Se han instalado un conjunto de luminarias a lo largo del tramo de la carretera Panamericana Tehuantepec-Salina Cruz en el estado de Oaxaca. Se trata de luminarias que tienen como fuente de energía paneles fotovoltaicos, estas luminarias han presentado el problema de que debido a los fuertes vientos y al gran tamaño de los paneles fotovoltaicos se han colapsado sobre la carretera provocando varios accidentes, en parte debido a que el sistema de carga y baterías están albergadas en el extremo

superior de la luminaria, de manera que representan un peso considerable, provocando así que se generen vibraciones y se presente el inminente colapso. Por lo que se tomará en cuenta este aspecto en el diseño (Ver **figura 14**).



Figura 14. Luminarias con paneles fotovoltaicos colocadas a lo largo de varios kilómetros de la carretera Tehuantepec- Salina Cruz A. Acercamiento, B. vista de conjunto frontal y C. vista de conjunto posterior.

Se cita en un diario electrónico local: “Denuncian automovilistas que la obra que inauguró el ayuntamiento de Salina Cruz que preside Rodolfo León Aragón a principios de año, no contemplaron los fuertes vientos que azotan la región del istmo” (Hernández, L. 2017, S/P).

Se colapsaron las luminarias debido a que no se tomó en cuenta en el diseño el aspecto del peso que representaría la colocación de las baterías en el extremo superior de la luminaria, aunado a que al área que representa la celda fotovoltaica servía como “vela” para empujar fácilmente la luminaria.

Como se puede ver en la **figura 15**, los fuertes vientos provocaron el colapso de la luminaria.



Figura 15. Colapso de una luminaria con panel fotovoltaico debido a los fuertes vientos.

(Hernández, L. 2017).

1.5.10 Mecanismo de par de arranque (sistema de arranque).

Como se ha observado en los antecedentes investigados, es necesario usar un sistema de arranque, que puede tener múltiples fuentes de inspiración, para ello se ha realizado una investigación detallada en bases de datos de patentes nacionales e internacionales acerca de los sistemas de arranque que ayudan a que la turbina comience a girar por sí misma, cabe destacar que estos mecanismos son de índole mecánica, ya que existen otros que son de tipo eléctrico, en su mayoría consisten en sistemas de control que inyectan corriente al generador, haciéndolo funcionar como motor y arrancando eléctricamente el rotor de la turbina eólica.

Ante el problema de arranque se plantea el hacer un rotor eólico híbrido, donde se conjunten la eficiencia de usar un perfil aerodinámico en las aspas y se ayude al arranque del eje de giro del rotor con captadores de viento del tipo Savonius. Esto con la finalidad de que se usen en zonas suburbanas donde la baja velocidad de viento complica el arranque.

1.5.11 Turbina eólica Xadany.

Este fue un proyecto personal que se realizó en el año 2013, consistía en la base de la turbina y un rotor de eje vertical tipo ciclo giro de aproximadamente 2 metros de altura por 2 metros de ancho, lo realicé con la finalidad de comprender el funcionamiento de una turbina eólica y lo que implica su manufactura. Esta

turbina fue construida con distintos materiales incluyendo acero 1018, aluminio de la serie 6000, madera, tubos de PVC, hule espuma y láminas de polietileno.

Fue diseñada con algunos parámetros de ingeniería básicos del diseño de turbinas eólicas de eje vertical, como son la altura y el diámetro del rotor, pero algunos otros parámetros se determinaron usando procesos de ingeniería inversa basándose en otras turbinas, en específico el largo de la cuerda del perfil aerodinámico y el ángulo de inclinación. Esta turbina se probó en la Universidad del Istmo campus Tehuantepec usando un acoplamiento a un generador de corriente directa, este funcionaba originalmente como motor, pero fue adaptado para este fin. Se probó y se observó que el rotor comenzaba a girar arriba de velocidades de viento de aproximadamente 10 m/s, la cual es una velocidad muy alta que difícilmente se logra en la zona del Istmo de Tehuantepec, salvo en la zona de la ventosa. Debido a estos fuertes vientos esta turbina sufrió una fuerte caída contra el piso al carecer de un adecuado sistema de fijación y anclaje, resultando en la ruptura de dos de sus aspas. Esta fue la base para este proyecto, por lo tanto, se observaron los puntos a mejorar, estos se corregirán en este proyecto y son los siguientes:

1.5.12 Hallazgos importantes por mejorar en el proyecto “Xadany”.

- Evitar los materiales que pueden fracturarse fácilmente y sufrir fatiga con el tiempo como es el material de polietileno que se usó para recubrir las aspas. Se deberán usar materiales de mayor resistencia y evitar este material, también es de relevancia el evitar materiales biodegradables como es la madera que se usó en la estructura de las aspas debido que sufren deformaciones con el agua de lluvia y el sol.
- Optimizar el tamaño del rotor en base a cálculos y ecuaciones de ingeniería específicas para el diseño de turbinas tipo ciclo giro, y de preferencia probar el rotor en túnel de viento o simularlo previamente en algún software.
- Usar un sistema de arranque debido a que el rotor necesitaba de un fuerte viento para que el rotor comenzará a girar.
- Usar un perfil aerodinámico especial para bajas velocidades de viento.
- Ajustar el ángulo de incidencia para captar de manera óptima el viento
- Usar un generador de imanes permanentes especialmente diseñado para este fin para que haga la conversión de energía mecánica a energía eléctrica a bajas revoluciones por minuto.
- Medir todos los parámetros que resulten del giro del rotor como son: velocidad de viento, revoluciones por minuto, voltaje, potencia y corriente generados.

- Usar un sistema de anclaje redundante debido a que los vientos en la región del Istmo de Tehuantepec son especialmente fuertes (aproximadamente en el rango de los 7 a 10 m/s).
- Usar un apoyo para la producción energética en caso de no haber viento o que este sea de baja velocidad e inconstante.

El primer prototipo de esta turbina eólica se puede ver **figura 16**.



Figura 16. Prototipo de turbina eólica “Xadany”.

1.5.13 Energía solar fotovoltaica.

La energía solar fotovoltaica convierte la luz del sol en electricidad usando una celda con tecnología fotovoltaica. Al incidir radiación solar sobre una celda fotoeléctrica se produce una diferencia de potencial en las dos caras de la celda y por lo tanto se produce un flujo de electrones.

Como se observó en este documento en uno de los puntos a mejorar en el proyecto “Xadany”:

“Es recomendable usar un apoyo para la producción energética en caso de no haber viento o que este sea de baja velocidad e inconstante”.

Se puede optar por el uso de una celda fotovoltaica por ser la opción más conveniente, debido al precio adecuado y la facilidad para conseguirlas. También gracias a que funcionan con la radiación solar, dicha radiación es abundante en la mayor parte del territorio nacional y trabajan inclusive cuando hay presencia de nubes. Existen dos tipos de paneles fotovoltaicos dependiendo del proceso de transformación del Silicio (ver **figura 17**), se pueden ver sus características en la **Tabla 4**.

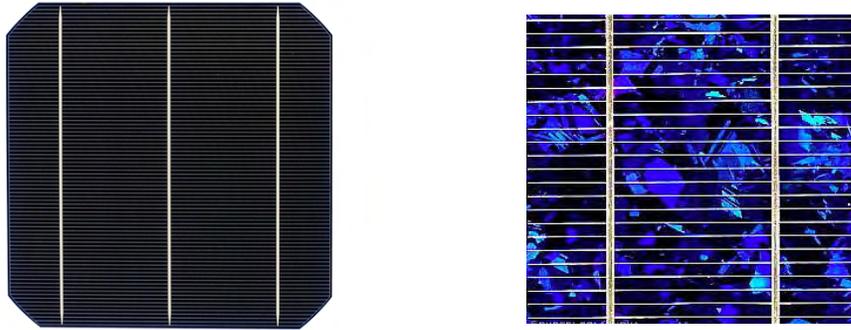


Figura 17. Ilustrando a la izquierda la celda de un panel policristalino, y a la derecha una celda de un panel mono cristalino.

(Delta Volt SAC, 2018)

Mono cristalino	Policristalino
Están hechas de un sólo cristal de silicio	Están hechas de varios cristales de silicio
Su fabricación implica un alto coste energético.	Su fabricación resulta más económica.
Ligeramente más eficiente (24%) en comparación del panel policristalino.	Ligeramente menos eficiente. (20%)
Lentitud en el proceso de calentamiento.	Rapidez en el proceso de calentamiento.

Tabla 4. Características de los paneles solares mono cristalinos y policristalinos.

(Delta Volt SAC, 2018).

1.6. Marco conceptual

Se describen a continuación los conceptos que se manejarán en esta investigación.

1.6.1 Prototipo.

Se define un prototipo como “Un primer modelo que sirve como representación o simulación del producto final y que nos permite verificar el diseño y confirmar que cuenta con las características específicas planteadas.” (Sendekia Ingeniería, 2017, S/P)

Respecto a los tipos de prototipos puede ser prototipo funcional y no funcional.

1.6.2 Prototipo no funcional.

Es una representación aproximada de lo quisiera el producto final puede ser una simulación de software o una maqueta. Se puede realizar impresión 3D. Existen prototipos llamados de “baja fidelidad” debido a que se utilizan distintos materiales a los que son usados en el producto final, esos prototipos no cumplen plenamente la función del prototipo final, por lo tanto, son económicos fáciles de reproducir. Y se pueden hacer en un corto tiempo. La idea es ver la apariencia del producto, es decir la forma y características de este por lo tanto puede diferir el producto final.

1.6.3 Prototipo funcional.

Este prototipo se aproxima en gran medida al producto final, es decir puede cumplir con las mismas funciones cumpliría este, suelen ser costosos y es necesario dedicarles mucho tiempo para su fabricación, además de realizar las pruebas necesarias para que cumpla la función para las que fueron diseñados. Estos prototipos se conocen como “De alta fidelidad” son recomendables antes de realizar una producción en serie.

1.6.4 Energía eólica.

La energía eólica tiene su origen en el sol, dado que este es el que produce de manera indirecta el viento. El viento es aire en movimiento y es el resultado de diferencias de temperatura en la superficie terrestre, debidas al calentamiento desigual de los rayos del sol. Al originarse zonas de mayor o menor presión por este calentamiento desigual, el aire se mueve de las zonas de mayor presión a las de baja presión; entre más grande sea la diferencia de presiones entre dos puntos de la superficie terrestre, mayor será la velocidad del viento (Espinosa. M.A, 2011, p.9).

El viento es captado por las aspas de los aerogeneradores creando así un movimiento rotacional del eje, el cual este acoplado a un generador eléctrico o a una fuente de conversión de energía mecánica a energía eléctrica.

De modo que si la idea es aprovechar el viento se necesitan condiciones meteorológicas concretas para que pueda funcionar a pleno rendimiento, es decir, no se pueden colocar los aerogeneradores en cualquier sitio, su localización debe estar estudiada, así es como las centrales eólicas (ver **figura 18**) logran ser económicamente rentables.



Figura 18. Ilustración de una central eólica.

(Osorio, D. 2016)

1.6.5 Luminaria.

Se puede decir que las luminarias son aparatos que convierten la energía de origen químico, fisicoquímico o eléctrico en energía lumínica. Una luminaria consta de dos elementos: La lámpara es el dispositivo que produce luz y la luminaria es el soporte estructural de la lámpara.

1.6.6 Clasificación de luminarias.

Las luminarias se pueden clasificar según:

- A) Las características ópticas.
- B) Las características mecánicas.
- C) Las características eléctricas.

IP X Y X

X: Entrada contra polvo (0-6).

Y: Grado de protección contra la penetración de líquidos (0-8).

Z: Protección contra golpes (0,1,3,5,7).

Y por último las características eléctricas de las lámparas según la protección eléctrica.

Clase	Protección eléctrica.
0	Aislamiento normal
I	Aislamiento normal y toma de tierra
II	Doble aislamiento sin toma de tierra
III	Luminarias para conectar en circuitos de muy baja tensión.

Tabla 5. Clasificación de las características eléctricas de la lámpara según la protección eléctrica.

(Fernández, J. 2017)

1.6.7 Alumbrado público.

Es una luminaria para alumbrado público que generalmente está en la calle, avenida, o un lugar público.

1.6.8 Iluminancia.

La iluminancia es la cantidad de luz que incide sobre una superficie y se puede definir como el flujo luminoso recibido por unidad de superficie. Su unidad es el lux, este es el flujo luminoso (lúmenes) que incide en un área de 1 m². Como referencia el nivel de iluminancia de un día de verano es de 100,000 lux, una oficina de 400 a 800 lux y de una calle bien iluminada es de 20 lux.

1.6.9 Deslumbramiento.

Este se produce por las luminarias públicas de calles y avenidas en los casos donde se presenta una sensación desagradable en los ojos cuando esta es demasiado intensa, puede ser directa e indirectamente como es el reflejo sobre el pavimento u objeto, así como luminarias que no tengan una cubierta para evitar ese efecto. Este reflejo puede tener ciertas repercusiones que afectan el confort del usuario, consiste es una sensación de molestia que puede llegar a perder momentáneamente la visión o quedar en la visión la permanencia de la fuente luminosa, pudiendo representar con esto cierto peligro.

1.6.10 Perfil aerodinámico.

Se refiere a la sección transversal de un elemento el cual al tener un flujo de aire alrededor provoca un efecto de sustentación.

1.6.11 Irradiación solar.

Consiste en una medida de la radiación solar que cubre una determinada área, se expresa en Watts / metro².

1.6.12 Corriente Directa (CD).

Se refiere al flujo eléctrico que se mantiene en una misma línea de un conductor y que no cambia de polaridad ni de sentido en el tiempo. De igual modo las cargas siempre fluyen en la misma dirección en el circuito eléctrico.

1.6.13 Corriente Alterna (CA).

Corriente alterna, es un flujo eléctrico que se desplaza a intervalos regulares en tamaño y tiempo en ciclos periódicos.

1.6.14 Coeficiente de potencia (Cp).

Es la eficiencia de un rotor eólico y que debido a la ley de Betz no sobrepasa nunca el 59%.

1.6.15 Estudio etnográfico.

Según menciona Giddens: "Es un estudio directo de personas y grupos durante un cierto periodo, utilizando la observación participante o las entrevistas para conocer su comportamiento social" (Giddens, A.1994).

1.7. Marco contextual.

Se propone ubicarla en un espacio adecuado, tomando en cuenta la necesidad de iluminación de los usuarios que circulen en esa calle o avenida o lugar específico donde sea colocado el prototipo de luminaria.

Los requisitos para determinar el contexto de aplicación del proyecto serán:

1. Que exista la necesidad por parte de la población de iluminación en ese lugar y que por determinada razón se opte por una luminaria independiente de la red eléctrica.
2. Que cuente con suficiente recurso eólico.
3. Que cuente con radiación solar adecuada.

Además, como parte complementaria se verificará que no existan obstáculos aéreos en el área que impidan se obtenga el suficiente recurso eólico o árboles que cubran la celda fotovoltaica. Para determinar el contexto de aplicación del proyecto se realizará una investigación cualitativa basada en encuestas y entrevistas abiertas, en caso de que el lector se interese puede consultarlas en el **Anexo A**. De ahí se seleccionarán los lugares más adecuados debido a que cumplen con los requisitos planteados. Para elegir el caso particular de aplicación debido a que hay un gran número de poblaciones en México donde existe la necesidad de iluminación se tomó como segundo requisito la existencia del recurso eólico suficiente en el lugar. Para esto se buscó en el mapa de viento la cantidad de recurso eólico de todo México (ver **figura 21**), encontrando que este es excelente (de 6.5 a 8.4 m/s) en las zonas del Istmo de Tehuantepec en Oaxaca, Tamaulipas y Baja California norte.

También se buscó una región donde hubiese la suficiente radiación solar (ver **figura 22**), para esto se usó un mapa de la radiación solar de México, encontrando de nuevo que, en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca existe la incidencia de radiación solar suficiente (2300 kWh/m^2) para que la luminaria cumpla su función sin interrupciones.

Adicionalmente, en esta región hay gran cantidad de poblaciones con necesidad de energía eléctrica, por lo tanto, se podrían beneficiar de este proyecto, por esta razón el Istmo de Tehuantepec será el lugar elegido para el proyecto.

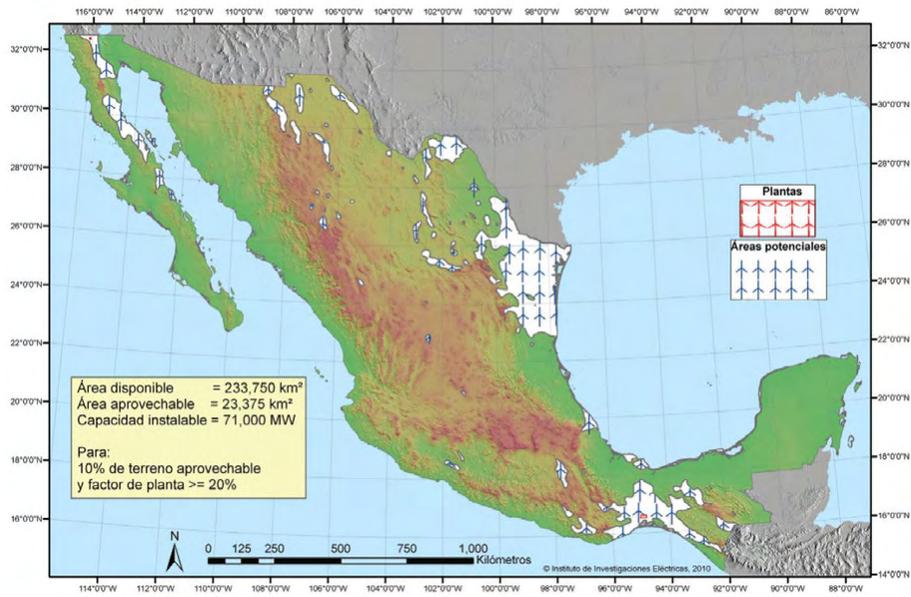


Figura 21. Mapa del potencial eólico en México (SENER, IIE. 2012).

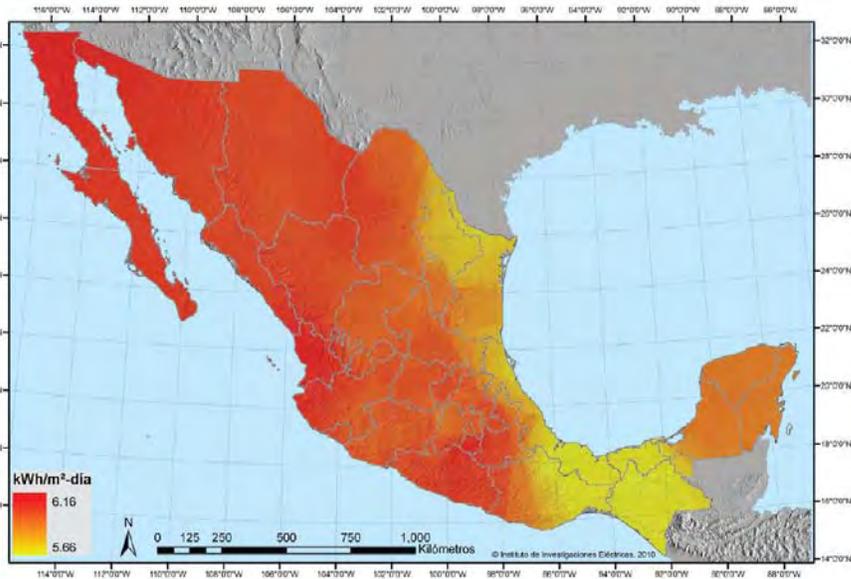


Figura 22. Mapa de irradiación solar global anual en México (SENER, IIE. 2012).

Para ubicar el contexto específico dentro de la región del istmo se realizará una investigación cualitativa en los sitios probables, esta será basada en entrevistas abiertas donde se observen las necesidades de la población respecto a iluminación en su comunidad.

Se deberá ubicar en un espacio adecuado, tomando en cuenta la necesidad de iluminación de los usuarios que circulen en esa calle, avenida, o lugar específico, además teniendo en cuenta que no existan obstáculos aéreos o de sombra en el área donde se coloque la luminaria que impidan obtenga el suficiente recurso eólico y radiación solar.

1.7.1 Condiciones de vida en el Istmo de Tehuantepec.

Hablar del Istmo de Tehuantepec es hablar de un entorno complejo, tanto geográfica, política y socialmente, es una región que comprende zonas montañosas por el oeste y planicies por el este.

La región del istmo (**ver figura 23**) comprende los municipios de Coatzacoalcos, Minatitlán y Acayucan en el estado de Veracruz, mientras que en el estado de Oaxaca las poblaciones con mayor cantidad de habitantes son: Juchitán de Zaragoza, Matías Romero, Salina Cruz y Santo Domingo Tehuantepec.

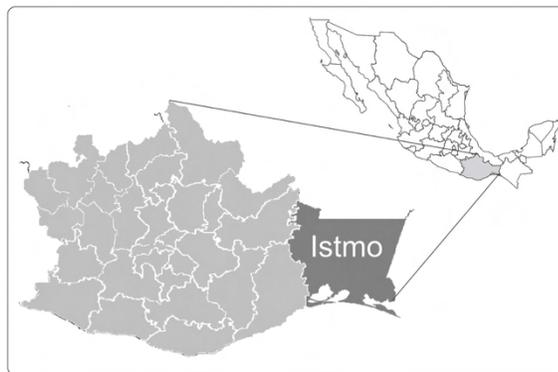


Figura 23. Región del Istmo de Tehuantepec en el estado de Oaxaca, México.

(López, M. 2014)

La región del Istmo de Tehuantepec en el estado de Oaxaca cuenta con un recurso eólico muy bueno, superado solo por el recurso eólico de La Patagonia, en Argentina. Esta región se divide en 2 distritos, el de Juchitán y el de Tehuantepec. Cada distrito a su vez tiene municipios, en conjunto son 41. “La población

del istmo oaxaqueño se estima en 595 433 habitantes representando el 15.7% de la población total del estado “ (INEGI 2010, citado por Valencia, N. 2011, p.12).

El Istmo de Tehuantepec conjunta distintas costumbres y culturas muy variadas, desde las más tradicionales como por ejemplo en la villa de San Blas Atempa en Tehuantepec en donde la mayoría de los habitantes hablan Zapoteco y son de escasos recursos, hasta lugares más modernos e industrializados como es el municipio de Salina Cruz, lugar que ha prosperado económicamente debido a la Refinería “Antonio Dovali” de Pemex y también a la industria generada en torno al Puerto de Salina Cruz y más recientemente la industria de la energía eólica. Estos factores han atraído inversiones y comercio, ya que en este municipio hay un centro comercial moderno y tiendas departamentales de prestigio de origen nacional y transnacional, este poblado es el segundo lugar respecto a población.

Se prospectan tres municipios para instalar la luminaria que cumplen con los requisitos de tener suficiente velocidad de viento e incidencia de radiación solar adecuada: Juchitán, Salina Cruz y Santo Domingo Tehuantepec.

1.7.2 Geografía y clima.

La región del istmo se sitúa en el entrecruzamiento de los reinos neo tropical y neo ártico, es decir, hay un clima cálido húmedo, fuertes vientos y huracanes continuos conjuntándose esto con un clima templado durante el invierno, esta región se caracteriza por su clima extremo donde el calor predomina en los meses de febrero a noviembre en donde debido a los frentes fríos disminuye la temperatura y aumenta considerablemente la velocidad de viento, siendo durante los meses de noviembre a febrero cuando se registran las mayores velocidades de viento. En los meses de mayo a octubre se presentan fuertes lluvias y huracanes llegando inclusive a inundar varios poblados.

1.7.3 Aspecto económico.

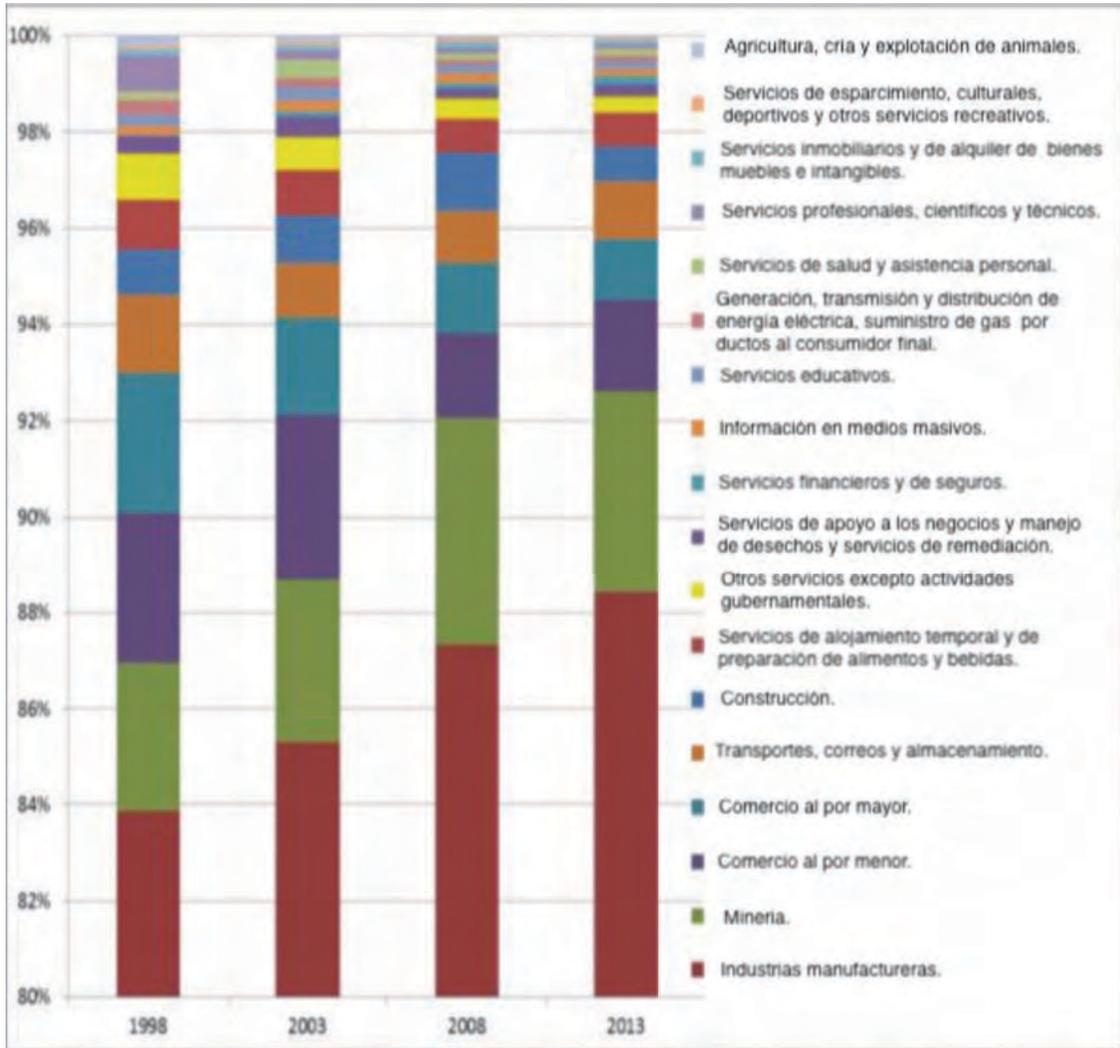
El Istmo de Tehuantepec es una región económicamente activa, ocupa el segundo lugar en este rubro en el estado de Oaxaca respecto a la participación económica, contando con 218,182 habitantes, estos representan el 47.9% del total de habitantes (Valencia, N. 2011).

Existen varias fábricas de cemento en la región, en Salina Cruz, en donde la refinería concentra una gran parte de la economía. Por otro lado, desde el año 2006 ha crecido la industria de la energía eólica en los poblados de La Venta y La Ventosa. Según menciona Valencia en su informe “En La región del istmo se obtuvieron \$ 854, 837, 869 de ingresos brutos.” (INEGI 2009, citado por Valencia N., 2011, p.20). Mientras

□

□

zOvA Nvf . óvUzOvéá [é]. Nvá. UvN UHégóBf 8. [é]NOHóif égOé, hUvéóó. g [é]zOv hvgv □
f éF. UAéUé, 8é, 9 g [i] vU [u]Jg □□□□□□



RóUé [i] MéUé, 8é, 9 g [i] A Uón, h Uv, . g) f 8. [v]g [v]á. UvN UHégóBf 8. □

[r]GCp r [i] □□□□□□

□□□□□□ t di sé [t] j sú e □

□□Cáróf . Nv [i] v1OéghAv, [v]óOg [é]U. f Aávq [ó] . [é]f vgh Nvx8N [é]á. ghv" h A. 88. NváOéUvgN gNv □
1éF [O]g [é] . g [v]Uvg, 8 [i] O [é] [é] [v] [é] . g [O] [é] [N] [A] x [é] N [ó] z [O] [v] [ó] [v] [U] [v] [g] [A] U [O] [é] [F] [é] . [ó] [C] [x] [U] [ó] [2] [U] [é] □
Nv [é] Ch 0. x [8] [U] . [U] [8] [v] [g] [N] [ó] [v] [A] U [ó] [O] [é] [U] [A] [é] [ó] [g] . [U] [é] [ó] [F] [z] [O] [v] [ó] [v] [é] . [A] [é] [é] [á] [U] [v] [g] [O] [U] [8] . [g] [é] , 8 [g] [é] [i] [u] [ó] [v] □

□

□

□

□

□□

conjuntan diversos grupos e intereses. Por otro lado, podemos ver poblados que han ido creciendo más recientemente y que han sido absorbidos por el contexto de la globalización como sería el municipio de Salina Cruz. Cabe resaltar que la región del Istmo de Tehuantepec fue afectada debido a los recientes sismos, en específico al sismo del 7 de septiembre del 2017, los municipios más afectados fueron: Juchitán de Zaragoza, Matías Romero, El Espinal, Tehuantepec y Salina Cruz en menor medida. Esto debido a que la mayoría de las construcciones afectadas fueron construidas con materiales como el adobe y la madera, además que dichas construcciones no fueron planeadas para soportar tales desastres naturales. Se puede ver que estas construcciones y casas antiguas se encuentran en los municipios más antiguos como son Juchitán y Tehuantepec, en contraste las construcciones más modernas se encuentran en la franja fronteriza entre los municipios de Tehuantepec y Salina Cruz, dichas construcciones se caracterizan por ser de concreto y varilla y que en general no se vieron afectadas por el movimiento telúrico, cabe destacar que muchas de ellas se concentran en grandes fraccionamientos de interés social así mismo hay muchas casas dispersas a lo largo del territorio entre Tehuantepec y Salina Cruz.

1.7.5 Caso particular de estudio.

Con base a lo que se ha investigado sobre el contexto del Istmo de Tehuantepec se postulan 3 municipios como candidatos a instalarla y son: Juchitán, Tehuantepec y Salina Cruz. Para elegir el lugar específico donde se podría instalar la luminaria se consideran algunos factores:

- a) Que realmente sean necesarias.
- b) Deberá ser un lugar donde el mayor número de habitantes se beneficie de estas.
- c) El lugar o poblado deberá estar abierto a nuevas tecnologías, ya que de lo contrario podría resultar disonante de acuerdo con la estética y costumbres del lugar.
- d) Se instalará en lugares donde no haya suministro de energía eléctrica o que aún habiéndolo no exista un esquema de alumbrado público.
- e) Deberá de contar con el suficiente recurso eólico y solar.

Realizando un amplio recorrido por los distintos municipios del istmo y tras haber realizado entrevistas abiertas en el municipio de Salina Cruz y Tehuantepec, se tomó como lugar específico de aplicación el fraccionamiento “La Noria” ubicado en el municipio de Tehuantepec, este es colindante con Salina Cruz,

Oaxaca (**figura 25 y 26**). Debido a que el estudio demostró la necesidad de iluminación en calles y avenidas, en donde se han registrado varios incidentes delictivos debido a la falta de iluminación. Además de que cuenta con una densidad de población considerable como para que la luminaria sea usada por una cantidad de usuarios considerable, la Noria cuenta con un total de 2975 habitantes, cuenta con un recurso eólico y radiación solar suficiente. Al ser un fraccionamiento de interés social no hay una identidad cultural definida y estratos sociales diversos, dominando la clase media.

Se realizó un sondeo cultural, en el que se detallará en el siguiente capítulo, algunos de los aspectos más relevantes que arrojó este estudio fueron (se pueden ver las entrevistas completas en **Anexo A**):

1. En la zona se han registrado varios incidentes delictivos y se considera que hay un problema de falta seguridad pública, específicamente ha habido incidentes de robo a casa habitación.
2. La mayoría de los entrevistados está de acuerdo en que el problema de seguridad se solucionaría existiendo más elementos de seguridad pública realizando rondines, es decir más policías. Sin embargo, debido a que este proyecto propone solucionar el problema de falta de iluminación con una solución técnica concretada en un producto. Ya que el problema de falta de seguridad publica daría lugar a otra investigación se le pidió a los entrevistados que pensarán en un elemento no humano para solucionar el problema, de modo que la mayoría coincidió en que la colocación de más luminarias aumentaría la seguridad pública de la zona y aumentaría la percepción de seguridad, además también cierto porcentaje de los encuestados mencionó que el problema se puede resolver colocando videocámaras, mismas que se podrían implementar en la luminaria, pero esto incrementaría considerablemente la complejidad del proyecto ya que sería necesario que estas cámaras fueran monitoreadas por algún centro de monitoreo, este centro de monitoreo implicaría una infra estructura de comunicación compleja implicando así a elementos humanos en el proceso. Por lo que este elemento se descartaría por el momento y se dejaría como un punto a implementar en futuros proyectos.
3. Se determinó que una de las zonas donde es necesaria más iluminación es al interior del fraccionamiento, a lo largo de todo el perímetro de los espacios abiertos y de áreas sin construcciones, en específico un terreno usado para canchas de futbol. También sería adecuado colocarlas en algunas calles y callejones dentro del fraccionamiento en las que la iluminación es nula. Al mencionar la propuesta sobre la colocación de luminarias que funcionarán de manera autónoma de la red de suministro de CFE, la mayoría coincidió en que le parecía adecuada esta solución, sin embargo, respecto a las fuentes energéticas, la mayoría menciona que consideraban más confiable la energía solar que la eólica, ya que

□

□

f vg, 8 gég zOv 1éF hvf A. lÉ NéóN. gNv g. 1éF 8gh AL8, 8éá vgh v g zé wA, é Nv AL8 é“ vLé vóhv
éóAv, h óv hv gNv v g, Ovghé NÚégh v áNóv(. Nv á áf 8éL 8 Aáf vghé gN. O g Aégváo. é UNv éA. F. □



□

R0Cúé □□□□ . gh" h Nv éA8 é, 8 gvóAv, B8. □2é, , 8 géf 8gh 6é G. Ú8 □ v1OéghAv, d é" é, éH□

□ . . 0áf í éAó □□□□□□

□



□



R0Cúé □□□□ é áv □. g Nv 8 gh 8f 8é, 8 gv á2é, , 8 géf 8gh 6é G. Ú8 □ v1OéghAv, d é" é, é□

□

□

□

□

□□

CAPÍTULO II

REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

A continuación, se plantean las directrices que guiarán el proceso de diseño de la luminaria y se definirán los elementos con los que se conformara la luminaria. Se comenzará por los requerimientos de diseño, estos han sido determinados en base a los criterios que se considera son los más relevantes. Después se hará un estudio técnico donde se revisarán las tecnologías usadas en luminarias en base a la investigación técnica del capítulo 1 y se terminará por un estudio etnográfico del contexto, en este estudio se plantearán las necesidades de los usuarios y el lugar específico donde se usará, todo esto dará como resultado los principios de diseño que proporcionarán las directrices para guiar el proceso de diseño.

2.1. Requerimientos de diseño.

A. Función.

Se plantea cumpla la función principal del producto, es decir dar iluminación en calles y lugares en donde esta sea necesaria y que por lo regular no exista un suministro de energía eléctrica cercano o que habiéndolo se decida por la opción de una luminaria autónoma debido a las ventajas que esta opción representa.

B. Costo.

Se plantea hacer una turbina lo suficientemente sencilla para que tenga un precio accesible, se plantea tenga un precio competitivo con las luminarias convencionales. Por lo tanto, la luminaria tendrá que estar construida con piezas comerciales. Por lo que se plantea el uso de piezas y materiales que se puedan conseguir en ferreterías.

C. Ubicación y contexto.

Se propone ubicarla en un espacio adecuado, tomando en cuenta la necesidad de iluminación de los usuarios que circulen en esa calle, además de que no existan obstáculos aéreos en el área que impidan obtenga el suficiente recurso eólico. Mediante una investigación cualitativa basada en encuestas y entrevistas abiertas se seleccionarán los principios de diseño que sean más adecuados a este contexto específico.

D. Materiales.

Se hará una luminaria eólica de precio accesible, sin perder de vista el aspecto de que la luminaria deberá ser diseñada con materiales de calidad y que sean adecuados para las condiciones climáticas del

contexto, así mismo se prestará atención en los procesos de manufactura para que las piezas sean hechas con precisión. Se plantea el uso de aluminio de la serie 6000, debido a la alta salinidad del contexto seleccionado, además de que refleja el calor generado por el sol.

E. Seguridad.

Se propone implementar un sistema de frenado a velocidades de viento superiores a 15 m/s, ya que implica un riesgo para el rotor eólico el funcionar a velocidades fuera de las que fue diseñado además de que se podrían dañar los componentes de la luminaria debido a las vibraciones.

F. Forma.

Se dará cierto énfasis en la forma del producto de modo que el diseño resulte estéticamente atractivo para los usuarios potenciales, esto se revisará en la investigación cualitativa.

G. Ergonomía.

Integrar el sistema de iluminación de modo que se adapte al trabajo humano. Se deberá tener en cuenta una altura adecuada de la luminaria, así mismo se busca que brinde una percepción de seguridad (solidez) adecuada, y que la intensidad luminosa sea la suficiente para iluminar un tramo de 18 m² de una calle o avenida. También se tomará en cuenta que la iluminancia sobre el pavimento no sea excesiva como para que provoque deslumbramiento o reste visibilidad a los transeúntes o automovilistas, la luz será de color blanco ya que brinda al usuario una mayor percepción de seguridad.

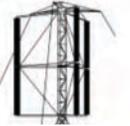
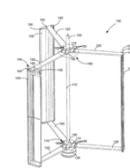
2.2. Estudio técnico.

A continuación, se muestra un resumen con los aspectos técnicos más relevantes de cada modelo de turbina eólica y luminaria investigada. En las casillas sombreadas están los aspectos sobresalientes que se pueden tomar en cuenta para determinar los parámetros de diseño.

En la **tabla 6** se puede observar los tipos de turbinas eólicas de eje vertical tipo Darrieus.

□

□

Ujg- u í t i 1así t pi i á vi gásí eádj i í ggi Jt □					
í g sá gÁésí □ □ □ Ñj pi é □	ωJg □	Tj é g □	Rut á z í pi □ í ggi I . Ji □	□□ □t di sé □ dj t úvj □	□□ □t di sé □ I i oí ávj □
□ □vU 0vgvLéN. Úró□ Nv Úvq "vUé éá□	□□ 	I v 2 U é □ . " . 8N □ OóégN □ éá f 8 □ é, vU □	□Aé gN □Gé □ , . Ughv réá □ 0vgvLéN. U □	G. Úvz O v U □ óóhf é N □ . Úghé, 8 g □ xOvgé □ vB 8g, 8 □	G. vóOgé 2 U é □ Zé f 8U □. f Aáq □ Nv □. góhU □ MÚóvghé □ vóZU. óv g: áé □ éóAéó □
□ i Úxg é □ I é U O □ Av U h □	□□ 	I v 2 U é □ Ú, hé OóégN □ éá f 8 □ é, vU □	I v N é ghv O gé □ , . Ughv réá □ 0vgvLéN. U □	G. Úvz O v U □ óóhf é N □ . Úghé, 8 g □ óvg, 8 N □ , . góhU □	Réat é Nv óóhf é □ Nv é U é g z O v □
Méhvgh □ G9 ñ D □□□□□□□□	□□ 	□éóAéó □ Ú, héóv g □ f v réá □	eé □. g, é " 8N □ vg v á Av U □ é f vghé v á A é U □ Nv é U é g z O v □	□U é g, é é □ f v g. U □ "v á, 8N F □ 2, 8N □ , . góhU □	Dv A 8 U v □ vB 8g, 8 N x 8 □ é áé □. g, é " 8N □
□ i Úxg é □ v) á é □ Nv □ vq "vUé éá □, . g □ Av U Nv □ Ov. f v U □ "é U x á □ □	I □□ 	□éóAéó □ Zv " 8v ó Nv □ A. á v U □	Cóh 8 A 8 8 v g □ á 2 U é Nv á Av U □ év U N g- f 8. réá □ vgóég, 1 é l v □	p 8 é é á é o □ "v á, 8N v ó f □ óvg, 8 N □ , . góhU □	Dv v g, v ó 8 □ f v q U á ó □ f é h U á v ó A é U □ v " 8 é U □ Nv 2 U é, 8 g Nv á □ éóAé é á é o □ "v á, 8N v ó □
□ PéNé g F □	C □□ 	□éóAéó v g □ f é h U á 1 O v □ v ó A f é □ Ú, O x 8 U é o □ , . g á f 8 g é Nv □ A. á v U □	Cógv, v ó é U □ 8 A á f vghé U □	R-, 8 N □ , . góhU □ xOvgé □ vB 8g, 8 □	Dv A v ó vghé □ Zv " 8 g v g á ó □ v " h v f . ó Nv á □ éóAé f □ " 8 U, 8 gv ó v g □ éóAé é U é g, é é □ é á é o "v á, 8N v ó □ Nv " 8 gh □

i é áé □□□□ élé, h U 8 éó h, g 8 éó U v ó f 8N éó Nv á ó Nv gh ó f . Nv á ó Nv (Úxg éó v) á éó Nv vq "vUé éá□. I é U O □

□□□□□□□□ □□ C □ F é, 8N éó □□□□ Mé C á □ □□□□□□□ □□ vgg 8 R □□ á, j L v á e. O á í □ Rv á ú □ n é g N é á □ □ é F N L □□□□□□

□

Cg á é o é - é t □ h □□□□ óv A O v N g □ x ó v U é U á ó h A. ó Nv (Úxg éó v) á éó Nv vq "vUé éá□. Dé " . g O v 1 8 U 8N éó □

□

□

□

□

□□

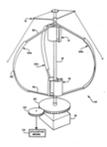
□

□

Ujg-ú í t í 1así t pi í á vi gásí e í t í pí t í l sí dé pj g t Rí vj l wt □					
í g sá Gásí □ □ □ Ñj pi é □	□ □ωJg □	□ Tj é g □	□ Rú é z í pi □ í gí l . Ji □	□□ □ t di sé □ dj t úvj □	□□ □ t di sé □ l i oí ávj □
□ i Úxé □ Dé“ . gDó □	R□ 	l v2 ũ é □ , &J ÚCéUóégN □ réf x. ó □ □ á f &éó.Nv □ f v h é □	□Uég, é □ 2, &í vghv □	Dvg, &í Nv □ , . góhÚJéCh □ éUégzOv □	□CóhWéA, . □ é0LéNéxá.Fixé □ v& &g, & □
□ eéf Aí Ch 1 □ l vóGria. Cöv □	p □ 	l v2 ũ é □ . ũ-g&éVg □ &Lé Nv“ &N& □ , . gí . áv □	rf A&h □ éUég, é □ 2, &í vghv □	. gQgré h N. ó □ á óváf vgh ó □ vgvÁA. óhv Fvó □ vóhWé □	ééóéóAéóAOvNg □ , 1. , éU. gCg □ . xgh □ég& éá □ éw. □
□ t éúv0éf . f v □	a □ 	l vá& □ Dé“ . gDó □ 1v&. &éávg □ &Lé Nv“ &N& □ , . gí . áv □ □ & AUó&g □	Dv gv, vó&éUé □ , . f AUxéUé □ gv, vó&éNv. Cg □ ó&hf é Nv □ éUégzOv □	. gQgré vÁ □ Aégváó. &Uvg □ Qgéf &f é □ vóhÚ, hÚé □ vóhWé é □ é0LéNéxá □	i éá“ vú.éUégzOv □ ééééó □ “vÁ, &éNvó.Nv □ “ &gh □ , . góhÚ, &g □ , . f Aáv □

i éx& □□□□ élé, hvÚ&éóhw, g&éóÚvóC &éó.Nv. á ó N&h óí . Nv á ó Nv (Úxéóv) &éó.Nv. vq“ vÚ& éá&A. Dé“ . gDó □

R□p □a □Fé, &éNéó □

Ujg-ú í t í 1así t pi í á vi gásí eaÁgpí t □□□í gí Jt sj z - ú í pj sj l Rí vj l wt □□					
í g sá Gásí □ □ □ Ñj pi é □	□ □ωJg □	□ Tj é g □	□ Rú é z í pi □ í gí l . Ji □	□□ □ t di sé □ dj t úvj □	□□ □ t di sé □ l i oí ávj □
Méhvghv □ G9 □□□□□□□□	r□ 	□éóAéó.Nv □ 2 ũ é □“ . &N □ vgí v h é □ □ f éhv&á □ &v“ &á □	rf Aáf vghé □ U h Úó □ Dé“ . gDó □	Dv □. gQgré á □ v& &g, &í Nv &í Úxé □ l éU&Có □. g& □ &, &éNv. éUégzOv □ Nv. áóDé“ . gDó □	□éééó“vÁ, &éNvó □ á ó U h Úó.Dé“ . gDó □ AOvNg. N&f &Ú& □ v& &g, & □

i éx& □□□□ élé, hvÚ&éóhw, g&éó.Nv. Cgéf Úxéóv) &éó.Nv. vq“ vÚ& éá&A. &éNé □ éU&Có □. f x&éN □. g.Dé“ . gDó □

r□Fé □ &éNéó □

Cg &é - é □□ón AOvN □ xón Ú éUá ó h&A. ó Nv (Úxéóv) &éó.Nv. vq“ vÚ& éá&A. □ éU&Có □

□

□

□

□

□□

□

□

Wg ú í t i 1 esí t pi í á aj gnj l é e					
í g sá g á sí □ □ □ Ñj pi é □	ωJg □	Tj é g □	Rt é z í pi □ Í gg l . Ji □	□□ t di sé □ dj t úvj □	□□ t di sé □ l i oí úvj □
□ □vU 0vgvLéN Úró□ Nv úv □. 1. 1. ghéa□	 o□ □	□éóAéó□ , . f Vgf vgh□ ZéxLé éNéóvgZéLé□ Nv □NLS □. g□ f . áv□	□Og. ó á □ 8 Aáf vghégvggá□ évU Ngy- f 8 é.Nvá□ éóAé□	DO2 Ú é□ ÚróOtré□ Zé f 88U□ xOvgé□ vZ 8g, 8□	n vZ8vÚróhvf é□ Nv □Lghé, 8 g□éa□ , . óh □. góhU□, 8 g□ , . f Aáf□
□ eCf 8úéLé□ 1BúNéóñ □ □ú, □	 t □	□éóAéó ZéxLé éNéó□ vgA 8 vU □D8□ AvLé évU Ngy- f 8 . □ vg áó éóAéó□	Dv 8 Aáf vghé éa□ OéUOg AvLé□ évU Ngy- f 8 . □	D. g□ , . g , 8Néó□	Gv, vó8ég.Nv éaé□ “v á, 8NéNv□ “8gh éa□. óh □ Oléghé f é(. Nv□ ÚróhU □

i éxá□□□□ élé, hvL88 éóhv, g8 éóÚróC 8NéóNv áóÚx8úéóv) 8 éó.Nv úv □. 1. 1. ghéa□

□□□□ ú é, 8éNéó□

□□. ghéCé, 8 g□ón f OvóhLéOg ÚróC vg□. g á ó éóAv, h ó f - ó Úv “éghvó.Nv á ó Aégv á ó. 8 Úró□é - é □
□□□□

i epí t tj é g t					
□	□ ωJg □	□ j l t éjlssul □	□ ú dj t usul □ pi edí l i e	□□ t di sé □ dj t úvj □	□□ t di sé □ l i oí úvj □
Mégváo. 8U□ f . g , 1. ghéa□	□□ 	g é □	. á , éUvghU□□□ F□□9□ LghéN □ éáóCU□	e8vLé f vghv f i - ó□ vZ 8ghv□□□ □ón□ , é8vghé□ ághé f vgh□	l - ó□. óh ó. zOv v á□ Aégv á A 8 1. ghéa□. □
Mégváo. 8UA 8□ , 1. ghéa□	□□ 	g é □	. á , éUvghU□□□ F□□9□ LghéN □ éáóCU□	e8vLé f vghv f i - ó□ v, . g) f 8. zOv v á□ f . g. □ 1. ghéa□. □	Dv□, é8vghé□ Ú A8é f vghv□8vg□ f vg. ÚvZ 8g, 8 zOv□ v á Aégv á f . g. □ , 1. ghéa□. □□□ □

i éxá□□□□ élé, hvL88 éóhv, g8 éóÚróC 8NéóNv á óN óhA óNv v áNéó2 h “. áé8 éó□

□□□□ ú é, 8éNéó□

□

□

□

□

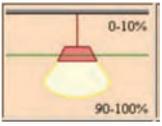
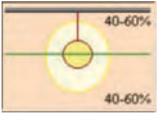
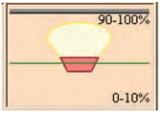
□

□□

□

□

□□□□. ghCé, 8 g□ón f □vóhCg□vóCf vg□. g á ó é Av, h ó f - ó □v" éghvóNv á ó hA. ó Nv □f □gú□□vU
 é - é □□□□Dv f □vóhCg□é□, é□□□□. f xU é Né□á □é□Av, h ó□. xU é□vghv□z□v□ón □A□vgh□h f éUvg□
 , Ovghé Aé□NvhU □gUá □AéU f vU □v□N□v(. □)

Udj t pi elz ulí gít □					
□	□ □□Jg□	Cj gsi l é á □ pi □ pút éu Jsull □ pi l elmí e □ dú j □	□ □j l t éu s s u l l □	□□ □t di sé □ dj t i á v j □	□□ □t di sé □ l i o l á v j □
I &v, hé □	□□□ 	□□□□□ □	Dvg, 8□□□□ A□ é □ Qg□ h □ é □ Aé□ □ z□v □ v □ y □ é □ á □ □	C, . g) f □ é □ F □ é□ □ A. Uvghé□ □ Nv □ N□H□Q, 8 g □ Nv □ á □ □	G. □ é F □
Dv f 8 □Nv, hé □	□□□ 	□□□□□ □	Dvg, 8□□ □	C, . g) f □ é □ □ xé□ □ A. Uvghé□ □ Nv □ N□H□Q, 8 g □ Nv □ á □ □	Dv □ A□Uv □ Cg □ é□ □ A. Uvghé□ □ Nv □ á □ é □, 8 □ á □ AU " . , é g N □ □ . . ghé f □ g é, 8 g □ á □ □ g □ é □ □
rgNv, hé □	□□ 	□□□□ □	Dvg, 8□□ □	C, . g) f □ é □ □ f □ □ xé□ □ A. Uvghé□ □ Nv □ N□H□Q, 8 g □ Nv □ á □ □	Dv □ A□Uv □ á □ f □ é F. □ □ Nv □ A. Uvghé□ □ Nv □ á □ é □, 8 □ á □ □ AU " . , é g N □ □ . . ghé f □ g é, 8 g □ á □ □ g □ é □ □

i é x á □□□□ élé, hv □□□□ é□ hv, g□ é□ v□ □f □ Né□ Nv á □ N□h □ h □ f . Nv á □ Nv □f □ gú□□vU

□□□□□ □u é , 8 é Né□ □

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□□□□. ghCé, 8 g□ón fí OíóLéCgUóCf vg□. gá óéóAv, h ófí - óUv" éghvóNv á ófíA. óNvA. óhvóFíó. A Uvó□
AéLé á áCf 8éLé Fíó8hf éNv 0vgvLé, 8 g□vUé - é □□□□□

Udj t pi dj t é t h t j dj gá t dí g é w z u í gí h t u é z í pi oi l i gí su l □					
□	□ □wJg□	□ □j l t é gí su l □	□ □u dj t u su l □	□□ □t di sé dj t úvj □	□□ □t di sé l i ó úvj □
M. óhvóNv áCf 8éLéó□ ó. áUvó□éUvhlé□ i v1CéghvAv, □Déáé□ Uv□d"é"é, é□	□□ 	i Cx. Nv é, vU □ ó8□. óíCé□	R8□ F□ éh U8éN. é□ xéón Nv□ , . g, Uv h □	Dvg, 8é Nv□ , . góH8U□	Cógv, vóéL8 □ Cg N8v(. □ vóAv, 8éAéLé□ áóéáéó□ "v", 8éNvó□ Nv"8gh Nv á áDÉU.F□ , . á, éUv á ó8hf éNv□ , éUé N gNv□ g. 0vgvU□ "8Lé, 8 gvóF□ á UvCé Nv á A. óhv □
eCf 8éLéó1BUNéó□ ñ □ □ ú, □	□□ 	i Cx. Nv é, vU □ ó8□. óíCé□	R8□ F□ éh U8éN. é□ xéón Nv□ , . g, Uv h □	Dvg, 8é Nv□ , . góH8U□	G. 1éF□ □ □ □ □ □

□

i éxá□□□□ élé, hvU8éóUvóC 8éóNv á óNvgh ófí . Nv á óNvA. óhvóFíó. A UvóAéLé á áCf 8éLé Fíó8hf éNv□
0vgvLé, 8 g□

□□□□úé, 8éNéó□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□□

□

□

M. Uvāf . óv f Ovóhég á ó. ghvgvN. ÚróNv xéhvÚrózOv óv fég héhéN f éóhé váf . f vgh f vUá - é □□□□

Udj t pi sj l é l i pj g t pi í é gÁt dí g é t w z u í gú t í t é pí t pi é g p					
□	□ □ωJg□	□ □ j l t églssul □	□ □ u dj t usul □	□□ □ t di sé □ □ dj t úv j □	□□ □ t di sé □ □ l i o í év j □
. ghvgvN. ÚróNv□ xéhvÚrózOv f églÚró□ ó. f vóó, éUv hvLé□ i v lOéghvAv, □Défúé□ UÚ□d é"é, é□□ □ □	□□ 	p é" v h é : O x 8 é N é □ v g v á v " h v f . □ ó O v L Ú U N v á □ A. ó h □	Cg : f A é U v □ ó O v L Ú U □	Dvg, f N v □ , . g ó h O U □	Có g v, v o é L □ Cg N ó v (. □ v ó A v, f A é L □ é á é ó □ " v á , f N é N ó □ N v " f g h v ó □ g v, v o é L □ , . á , é U v á □ ó h v f é N v □ , é U é v g f □ x é ó v □ N g N v □ g. O v g v U □ " f L , f g v ó f □ f A. ó h v L U □ U A h O L N v á □ A. ó h □
□ e f églÚró f U N é ó □ ñ □ l □ c □ □ □	□□ 	Có g v, v o é L □ v " , é " é U O g □ , . f A é U f f g h □ A é L , . g ó h O U □ 2 ó é N v □ , . g, U h □	Cg : f A é U v □ f v L U □ ó O x h v L é g v. □□	G. é a v L é v á □ v z O f L Ú N v □ f f églÚró □	Có g v, v o é L □ 1 é, v U : x L □ , f f □

i é x f □□□□ f A. ó N v . ghvgvN. ÚróNv xéhvÚró A é L f ó f églÚró é f N é ó N v f U N □

□□□□ u é , f N é ó □

□

□

□

□□□□□ í g s á g Á s í t é B l u s í t g t J z p í t pi é t w z u í t d í l i é t t j é g t w z u í gú t d j t é t h □
s j l é l i pj g t pi í é g Á t í l í a n í pj t □

. g á ó é ó A v, h ó A. ó f . ó N v , é N é f A. N v é v U o v g L é N U A é g v á ó ó. f v ó ó f églÚró A. ó h f . ghvgvN U
N v x é h v Ú r ó z O v f v g é . g h g é , f g f á ó , é L , h v Ú f é ó f - ó N v ó r é , é N é ó z O v z O v U g O é N é ó v g h é ó □
f églÚró v g x é ó v é C g v ó r O N f h v, g f . f - é □□□□

□

□

□

□

□□

ELEMENTO 1	TIPO	JUSTIFICACIÓN DE PARÁMETROS A USAR
TURBINA EÓLICA	Diseño del rotor elegido: Darrieus ciclo giro de perfil recto	Facilidad de construcción
		Buena eficiencia
		Una vez que está girando mantiene altas velocidades de giro.
		No es necesario sistema de orientación
		Usar elementos estructurales de tamaño, material y espesor adecuado en las aspas de modo que no se presente vibraciones ni deformaciones al girar.
	Sistema de arranque elegido: Captadores tipo Savonius integrados al soporte del aspa.	Ayudan al autoarranque sin necesitar una fuente de energía externa.
		Puede arrancar a bajas velocidades de viento.
		Sencillos de construir.
		Al colocarlos en el brazo del aspa no interfiere con la aerodinámica del perfil y no pierde eficiencia al hacerlos una forma aerodinámica.
	Material del rotor elegido: Aluminio	Se conjunta la eficiencia de la turbina Darrieus con la facilidad de arranque de las Savonius
Material del rotor elegido: Aluminio	Material que presenta baja rugosidad, es ligero, tiene resistencia a la corrosión, maleable y con tenacidad dependiendo la aleación.	
ELEMENTO 2	TIPO	JUSTIFICACIÓN DE PARÁMETROS A USAR
CELDA SOLAR	Panel solar mono cristalino	Eficiencia del 24%
		Calentamiento lento
ELEMENTO 3	TIPO	JUSTIFICACIÓN DE PARÁMETROS A USAR
LÁMPARA	Directa	90% de eficiencia lumínica al piso
	Protección contra polvo y agua	Usar IP65
ELEMENTO 4	TIPO	JUSTIFICACIÓN DE PARÁMETROS A USAR
POSTE	Tubo de aluminio por extrusión.	Tiene la resistencia y ligereza necesaria para soportar el conjunto de luminaria y elementos de generación de energía.
ELEMENTO 5	TIPO	JUSTIFICACIÓN DE PARÁMETROS A USAR
CONTENEDOR DE BATERÍAS	Todo en uno acoplado a la base de la luminaria.	Conjunta todos los elementos del compartimiento de baterías y sistema de carga en la base del poste evitando vibraciones en la parte superior por altas velocidades de viento, así como evitar escarbar un registro o caja para albergar las baterías.

Tabla 14. Características técnicas resumidas de las turbinas, paneles solares y luminarias postes y contenedores de baterías analizados.

Se observará qué valor tiene para el habitante el que las luminarias de su poblado generen su propia energía.

¿Qué se desea encontrar?

- a) La interacción del usuario con el producto.
- b) Los momentos más agradables y los más desagradables en esta relación.
- c) Lo que más valora este cliente del producto.
- d) Emociones, motivaciones, formas de uso (la reacción que provoca el producto en el usuario).

Ciente: El cliente se puede definir como aquella persona que adquiere el producto, podría ser el municipio de Tehuantepec o el presidente del fraccionamiento “La Noria” que en conjunto con los vecinos y habitantes del fraccionamiento determinen la necesidad de adquirir nuevas luminarias y el lugar idóneo donde las colocarían.

Ciente residencial: El cliente residencial consiste en personas que deseen usar el producto de manera particular, para iluminación de jardines o espacios abiertos que así lo requieran, de igual modo se puede usar como fuente generadora de electricidad para una casa. La energía puede usarse para múltiples propósitos diferentes al de la iluminación, este trabajo no se enfocará a este tipo de cliente.

Usuario: Se define como aquellas personas que hagan uso directo del producto, es decir de los transeúntes del poblado “La Noria” que se beneficien de la iluminación de calles y avenidas en el poblado.

A continuación, se muestran los componentes para realizar el sondeo cultural (ver **tabla 15**).

ELEMENTO	JUSTIFICACIÓN
Carta de presentación.	Permite generar cierta confianza en el entrevistado, además de que al momento de realizar la entrevista se realizará con la ayuda de un lugareño.
Mapa de “La Noria”.	Tiene la finalidad de que el entrevistado ubique zonas donde es necesario la colocación de luminarias, será un mapa digital en el iPad.
IPad con fotos de distintos prototipos	Se presentará al participante una serie de fotografías de distintos diseños y colores de prototipos con lo que se buscará encontrar un diseño agradable en común.
Prototipo a escala.	Se le presentara al participante un prototipo a escala de la luminaria para que comprenda su funcionamiento y exprese su opinión al respecto.
Guayabera.	Se usará por el entrevistador para que el participante no lo sienta tan lejano culturalmente.
Grabadora.	Con el permiso del participante se grabará la conversación con la finalidad de evitar anotaciones que distraigan la atención.

Tabla 15. Componentes del sondeo cultural (Cultural Probe).

2.3.3 Parte 2. Entrevista etnográfica.

PASO 1. Planeación de la entrevista y diseño experimental.

Se planea hacer un estudio cualitativo, de este modo se entrevistará personas de la comunidad de “La Noria”, en el estado de Oaxaca.

1. La población objeto del estudio consiste en toda persona que tenga su domicilio, sitio de trabajo o realice alguna actividad periódica dentro del fraccionamiento de “La Noria”.
2. La persona a entrevistar deberá tener al menos 5 años viviendo en el fraccionamiento, de modo que este lo suficientemente enterada de la dinámica y los eventos que se han suscitado en la comunidad.
3. El numero de personas a entrevistar será conforme se vayan encontrando datos similares entre los entrevistados, si los datos difieren de manera significativa entre los primeros 5 entrevistados se procederá a realizar una segunda ronda de 5 entrevistados más. De lo contrario de usaran los datos de las primeras 5 entrevistas.

4. Se entrevistarán personas en 5 puntos distintos puntos aleatorios del fraccionamiento, con la finalidad de obtener una distribución uniforme se ubicarán los puntos de las entrevistas en el lado sur, lado norte, lado oeste y el lado este, así como en el área central del fraccionamiento.
5. Se entrevistará a personas de a pie o que estén fuera de su casa y que dispongan de tiempo y disponibilidad suficiente para contestar la entrevista.
6. La entrevista tendrá una duración libre, pero se planea un tiempo aproximado de 5 a 10 minutos por participante.
7. Se grabará la conversación y se transcribirán las respuestas.
8. Durante la entrevista se le mostrará al participante una serie de imágenes de la propuesta de diseño de la luminaria, un prototipo a escala y un mapa del fraccionamiento con la finalidad que indique las calles donde considera hay mayor incidencia de robos.
9. Se le obsequiarán caramelos al participante al finalizar la entrevista.

PASO 2. Recursos necesarios.

Para realizar la entrevista será necesario usar el “**Cultural probe**”.

Como medio de registro se usará una grabadora de audio y fotocopias del mapa de “La Noria”.

PASO 3. Realizar la visita.

Se hará la entrevista en un lugar público, como una calle, parque o jardín, o al interior de un local en caso de que sea un comercio abierto al público como una tienda.

PASO 4. Capturar la entrevista.

Grabar la entrevista previo consentimiento del participante.

Preguntas por realizar (las entrevistas se pueden ver al final del documento en el **Anexo A**).

¿Consideras que hay algún problema de seguridad en el lugar dónde vives?

¿Si es afirmativa la pregunta anterior, de qué forma consideras se puede resolver el problema de la falta de seguridad?

¿En qué calles de tu localidad consideras es necesaria mayor iluminación?

¿Qué opina de las luminarias eólico-solares? (Se le muestra al entrevistado una serie de fotos).

¿Qué opina de este modelo? (Se muestra la foto del prototipo)

¿Cuánto estima su costo?

¿Cuál preferiría de las siguientes tecnologías para generar electricidad en su hogar?

a) Eólica b) Solar c) Convencional.

2.3.4 Perfil de usuario típico.

Mediante un estudio de campo y con la ayuda de un informante clave en una entrevista a profundidad semi-estructurada, se lograron determinar algunos elementos que sirven para definir un perfil de usuario típico.

Perfil psicológico del usuario típico:

El habitante promedio del municipio del fraccionamiento “La Noria” vive en una comunidad en donde a pesar de que todas las casas están una junto a la otra en una densidad de población mediana la gente no se conoce del todo entre sí, es decir no hay una cohesión social tan grande como la habría en pueblos como podría ser Tehuantepec o Juchitán, lugares en donde la cultura del Istmo aflora a todo su esplendor debido a los eventos sociales que se festejan en estos lugares, en su mayoría festividades religiosas de santos de la religión católica, desfiles de temporada por ejemplo: primavera o navidad, además del festejo de fechas nacionales etc. Estos festejos son el caldo de cultivo para que la gente se conozca entre sí y pueda estrechar lazos de amistad más fuertes y por lo tanto es más fácil que reconozcan a las personas ajenas a la comunidad.

En contraste las personas que viven en “La Noria” realizan festejos de carácter familiar en el patio de las casas, o en los andadores en donde la familia puede o no pertenecer al fraccionamiento ya que es común que no toda la familia viva en el fraccionamiento, también se realizan festejos de carácter religioso en específico de la religión católica, estos son menos frecuentes y de menor magnitud en comparación de poblados como Tehuantepec o Juchitán.

Miedos.

En el pobador existe un miedo generalizado a ser robado, principalmete predomina el robo a casa habitacion por delincuentes que no vieven ahí pero que han tomado ese sitio como lugar idoneo para cometer los ilicitos, estos delincuentes se les conoce entre los pobladores como “marihuanos” y son personas que viven en colonias populares y en los alrededores de Salina cruz y Tehuantepec, estos son los principales responsables de los robos a casas.

En este fraccionamiento las personas salen a trabajar durante 8 horas o mas dejando solas sus casas, por lo que corren aun más riesgo de ser robadas, esto provoca miedo constante en las personas el cual se ve reflejado en que la mayoría de las casas cuentan con protecciones de seguridad en las ventanas y las puertas tiene doble chapa o cerrojo de seguridad.

Tambien existe un miedo generalizado en los pobladores a los sismos los cuales recientemente han azotado la region y aún despues de 1 año del primer sismo de magnitud considerable que se sucito el 7 de septiembre se siguen dando constantes replicas que provocan un estado de temor sostenido entre la población.

Motivaciones.

El habitante promedio de la Noria puede tener multiples aspiraciones, en el aspecto economico, social, familiar y como persona. Pero centrandonos en los aspectos relativos al fraccionamiento el habitante que renta una casa o que esta pagando una hipoteca busca trabajar para pagar la renta del mes o en su caso abonar a la hipoteca y por lo tanto se vera motivado para generar este ingreso. En general la gente de este fraccionamiento no aspira a tener bienes materiales mas alla de los de la clase media ya que al ser una zona con una economia inestable y de sueldos bajos que oscilan alrededor de los \$4000 a \$8000 pesos las personas buscan encontrar o mantener un empleo que le de para pagar sus gastos diarios y mantener a su familia.

Deseos.

Las personas de este lugar viven una dinamica muy variada, sin embargo se puede saber mediante las respuestas dadas que los habitantes desean subsistir, es decir tener ingresos que cubran sus gastos y los de su familia, no aspiran a un ideal social o comunitario mas alla que el de manterner el orden y la

tranquilidad en su lugar de vivienda, esto incluye el sentirse seguros y saber que no serán asaltados o sus casas robadas.

Perfil etnográfico del usuario:

Se presentan determinados rasgos asociados al lugar de vivienda, los cuales impactan directamente en el nivel cultural, las costumbres sociales y ritos religiosos, a continuación se describirán algunos de estos:

Nivel cultural.

El habitante de edad entre los 5 y 25 años de edad cuenta en su mayoría con un nivel cultural basado en la televisión, existe una biblioteca la cual está cerrada y en completo desuso, los habitantes al no tener distracciones recurren a la televisión y los videojuegos, siendo estos parte de su formación cultural. Los habitantes de 25 a 75 años cuentan con una cultura más variada siendo difícil identificarla pero se puede decir que es relativa a la cultura de Salina Cruz en donde hay una penetración mayor de influencias culturales extranjeras ya que este fraccionamiento es de reciente creación.

Nivel de estudios.

En su mayoría se encontraron con personas que tenían grado académico de bachillerato o licenciatura.

Afiliaciones.

El habitante promedio de La Noria no está afiliado a algún club o asociación en particular, ya que al ser un fraccionamiento relativamente pequeño carece de alguna asociación en particular, sin embargo existen iglesias y templos que cubren esta función.

Religión.

En el fraccionamiento existe una variedad de iglesias como son de los testigos de Jehová, bautista y católica resaltando esta última por la aceptación y por la cantidad de adeptos. En segundo lugar está la iglesia de los testigos de Jehová, a esta iglesia acuden en su mayoría habitantes del fraccionamiento y algunos de otras zonas cercanas como son Tehuantepec y Salina Cruz. Este centro religioso organiza eventos o reuniones periódicamente siendo la más importante en el mes de octubre en la cual durante tres días los adherentes a dicha religión dejan de lado todas sus actividades para acudir a este festejo. Cabe destacar que esta es una religión regida por normas de carácter conservador la cual promueve un

estilo de vida medurado como son no tomar bebidas alcoholicas, no contraer matrimonio con personas fuera de su religion y vivir en comunion con los preceptos de Jehova.

Informate clave: Sinai Sanchez Angeles, habitante de “La Noria” durante aproximadamente 18 años.

2.3.5 Parte 3. “Insights” o hallazgos.

Se obtuvieron un total de 50 Hallazgos (ver **figura 28**) de las entrevistas anteriores, así como de una lluvia de ideas, estas son ideas cualesquiera que tienen relación con el proyecto y ayudan obtener ideas nuevas.



Figura 28. Hallazgos obtenidos.

Se ordenaron por categorías y se obtuvo la **tabla 16**:

TIPO	HALLAZGO
ENERGÍA	<p>“El sol es mejor.”</p> <p>“Generar tu propia energía es como cosechar tus propios frutos.”</p> <p>“Prefiero a la energía solar porque siempre hay sol.”</p> <p>“No me es familiar la energía eólica.”</p> <p>“Eólica no en todos lados funcionaria.”</p> <p>“¿Y si no hay sol?”</p> <p>“Me gusta la energía convencional porque es segura.”</p>
ESTÉTICA	<p>“Parece tecnología extraterrestre.”</p> <p>“Tiene aspecto futurista.”</p> <p>“Si es muy grande sería estorbosa.”</p> <p>“Luce bonita”</p>

DATOS ECONÓMICOS	<p>“El istmo es un lugar de contrastes.”</p> <p>“50,000 pesos es muy caro.”</p> <p>“Lo compraría gente de clase alta.”</p> <p>“Se puede ahorrar en el recibo de CFE.”</p> <p>“Si generan la energía gratis está bien.”</p> <p>“Costaría entre 50,000 y 100,000.”</p> <p>“Son una buena inversión a corto plazo.”</p>
DATOS ECOLÓGICOS	<p>“Matan a los pajaritos.”</p> <p>“Hacen mucho ruido.”</p> <p>“Su fabricación implica contaminación.”</p> <p>“Buena opción si no contaminan.”</p>
DATOS EN EL ISTMO	<p>“En el istmo solo hay un local con dos aerogeneradores.”</p> <p>“No soportaría los vientos del istmo”</p> <p>“Más educación ante los robos.”</p> <p>“Más empleos menos robos.”</p> <p>“Más videocámaras.”</p> <p>“En Juchitán hay mucha inseguridad por el crimen organizado.”</p> <p>“En lugares solitarios se la pueden robar”</p> <p>“Las personas en lugares inseguros quieren más policía.”</p>
DATOS GENERALES	<p>“Quiénes son tus clientes.”</p> <p>“Bajo qué esquema de pago se compraría.”</p> <p>“Se puede romper al girar tan rápido.”</p> <p>“No me gustaría tener algo estorboso en mi techo.”</p> <p>“¿El material para fabricarlo durará?”</p> <p>“La gente que compra tecnologías verdes se siente bien de hacerlo.”</p> <p>“Hay lugares donde no llega la luz.”</p> <p>“Les gusta a las personas jóvenes.”</p> <p>“Puede tener éxito en áreas rurales donde no hay luz.”</p> <p>“¿Se puede adaptar a los postes?”</p> <p>“¿Se le dará mantenimiento seguido?”</p> <p>“Se puede usar para cargar el celular.”</p> <p>“Puede tener éxito en otros países.”</p> <p>“Se puede usar para anuncios”</p>

Tabla 16. Hallazgos de la investigación etnográfica ordenados por categoría.

De esta investigación se obtuvieron los hallazgos más importantes que destacan por lo inesperado y se describen a continuación.

“Insights” o hallazgos relevantes.

- a) Se puede hacer un esquema de pago o de financiamiento atractivo para el cliente.
- b) El problema de seguridad demanda de mayor cantidad de policías.
- c) Es necesario implementar paneles fotovoltaicos.
- d) En el istmo probablemente funcione mejor un aspecto más tradicional.
- e) Las condiciones del istmo son condiciones muy específicas.
- f) Se debe enfocar en que funcione a velocidades altas de viento usando materiales adecuados.
- g) Se puede implementar un puerto USB en la luminaria y una banca para que el usuario cargue su dispositivo móvil.
- h) Se puede usar el poste para colocar anuncios y letreros en una placa.

2.3.6 Parte 4. Hoja de ruta.

En este caso se trata de plasmar la experiencia del usuario respecto a una luminaria, esta experiencia se limita solo al momento en el que el usuario pasa por donde está ubicada la luminaria, es decir cuando pasa por un lugar oscuro y goza de la iluminación artificial en su camino, este proceso de interacción se ilustra en el **diagrama 1**.

Problema por resolver: La falta de iluminación en calles y avenidas.

Datos de entrada: Lista de las actividades de los usuarios que habitan en el contexto de estudio.

El problema por resolver es la falta de iluminación en el poblado de “La Noria”, en el estado de Oaxaca. Por otro lado, existe el problema de la seguridad, este es un problema muy complejo que involucra muchos factores, tanto sociales, como económicos y tecnológicos, en este caso dada la naturaleza de la investigación y el tema a cubrir se abordará el problema de seguridad desde el punto de vista de la tecnología, según las respuestas a las entrevistas este problema se puede resolver parcialmente colocando luminarias.

Por ello se hace un listado de las actividades de la gente de la población de “La Noria” respecto a la **interacción del sujeto-objeto** con la luminaria.

Hoja de ruta

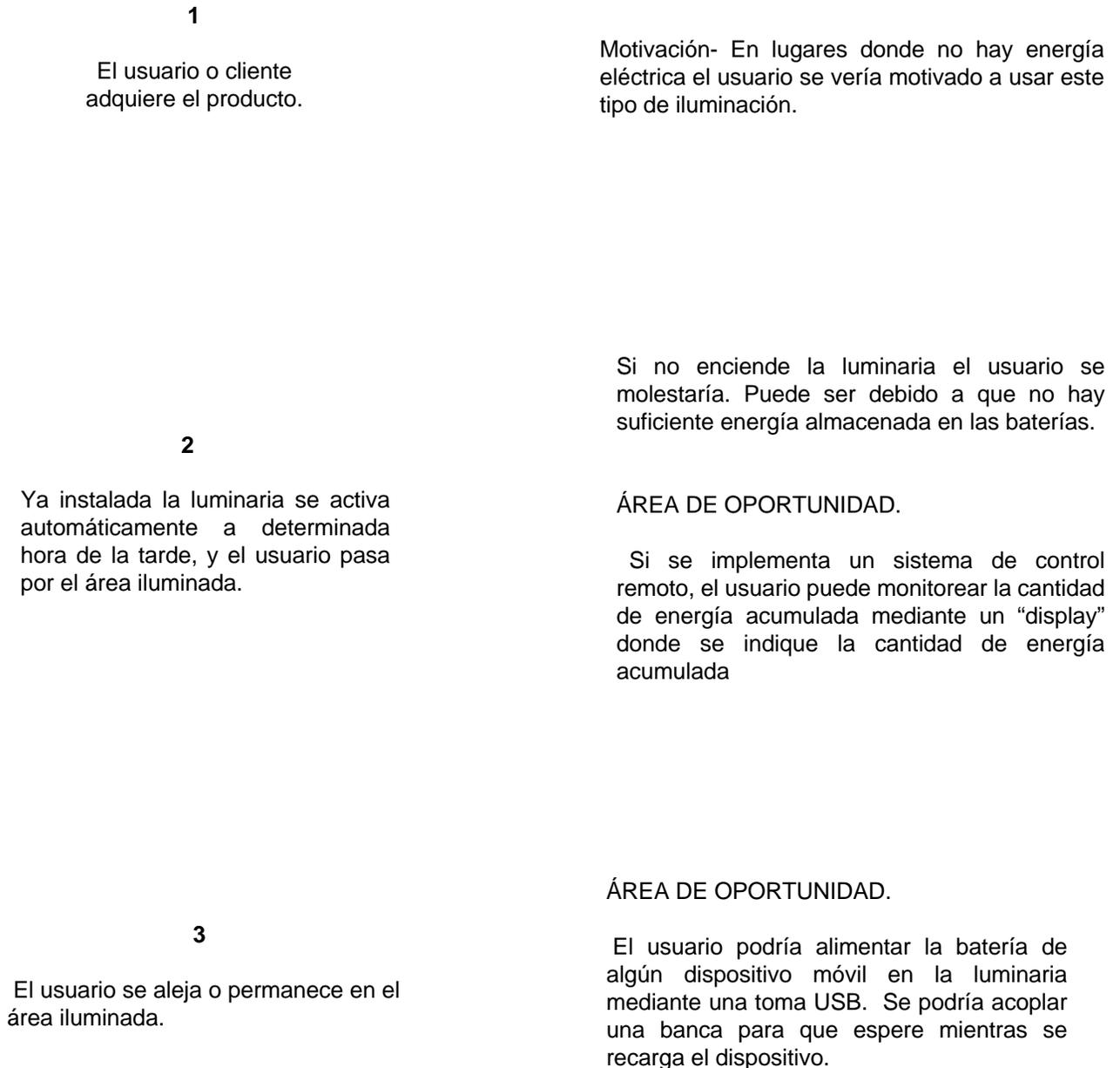


Diagrama 1. Hoja de ruta – Proceso de interacción sujeto-objeto con la luminaria.

2.3.7 La necesidad más urgente de la población respecto a iluminación (avenida, calle, parque, etc.)

Con los casos estudiados se observa que las calles del fraccionamiento es el lugar donde la población percibe la necesidad de instalar más luminarias, ya que en las avenidas o en la carretera que atraviesa el fraccionamiento ya existen luminarias solares, además de que los automóviles cuentan con iluminación propia no es tan necesaria para estos casos. Por lo tanto, se decidió diseñar la luminaria para **calles**, con esta distinción se incide directamente en la altura del poste y las dimensiones de la luminaria. Se define calle como:

Calle: “Vía pública, habitualmente asfaltada o empedrada, entre edificios o solares.” (Real Academia Española, 2014).

2.3.8 Principios de diseño.

Haciendo un resumen de los requerimientos de diseño, el estudio en base a las características técnicas de las luminarias junto con los hallazgos encontrados con base a la investigación etnográfica se pueden definir las directrices que guiarán el proceso de diseño.

Principio 1. Economía.

Diseñar a un precio competitivo evitando componentes innecesarios. En este sentido la aportación de este principio se vera reflejado en uso de partes comerciales (lámpara, generador, panel fotovoltaico). En vez de partes diseñadas salvo la estructura misma de la luminaria y la turbina eólica, se sustituirá el freno mecánico del aerogenerador por uno electromagnético.

Principio 2. Estética.

Diseñar con un aspecto estético que no se considere irruptivo en el contexto y que esta estética este ligada a la funcionalidad. La aportación de este principio proviene del resultado del estudio cualitativo, en donde la gente acepta el diseño propuesto.

Principio 3. Durabilidad.

Diseñar para las condiciones climáticas de sol y lluvia del istmo usando materiales resistentes y de calidad. La solución encontrada fue usar partes de aluminio, material que aporta resistencia mecánica y a la corrosión.

Principio 4. Seguridad.

Diseñar con un sistema de seguridad de frenado y una estructura adecuada para los fuertes vientos del istmo. Este principio se reflejó en la implementación de un freno electromagnético en el generador eléctrico, la estructura fue probada bajo condiciones reales a velocidades de viento de 10 m/s. Se implementó el uso de apoyos en las uniones de los elementos del poste a la base y del brazo de la lámpara y la celda fotovoltaica a fin de reforzar la estructura.

Principio 5. Simplicidad.

El diseño se debe centrar en las partes esenciales, de modo que se eviten partes o accesorios innecesarios o redundantes. Se evitó el uso de un compartimiento de baterías aislado, de modo que se tengan todos los elementos en un solo compartimiento en la base a nivel de piso, con la intención de facilitar el mantenimiento y las reparaciones.

Principio 6. Usabilidad.

La luminaria debe centrarse en las necesidades funcionales, sin perder de vista las necesidades estéticas y psicológicas del usuario. Se buscó hacer una luminaria que se centrara en obtener un equilibrio entre la forma y la función. Se buscó que la luminaria fuera un apoyo para disminuir el miedo del usuario al transitar de noche, también se propone la implementación de una placa para colocar letreros a fin de promover la comunicación entre vecinos.

Se pudo encontrar una gran cantidad de hallazgos y se encontraron algunos muy valiosos como en el aspecto de implementar una videocámara de seguridad para que sea monitoreada por el usuario y así mismo evite que sea vandalizada la luminaria, como se mencionaba. El problema de seguridad y delincuencia es muy complejo, pero desde este análisis tecnológico propone la implementación de esta luminaria como una solución parcial más no total al problema que aqueja recientemente a la población de la Noria.

Por último se encontró una manera en la que el usuario pueda tener una mayor interacción con la luminaria más allá de solamente pasar por el lugar como se observó en la hoja de ruta y se trata de implementar una toma USB para alimentar la batería de algún dispositivo móvil, y dado que tendrá que esperar algunos minutos mientras se carga el dispositivo se podría anexar una banca para que el usuario se pueda sentar,

esta serviría asimismo para dar soporte al poste, también se puede colar en el poste una lámina de modo que se evite la colocación de anuncios en una superficie cilíndrica.

2.4. Aspectos humanos.

Se mostrará a continuación la justificación de uso de los elementos usados en la luminaria.

2.4.1 Color.

El conjunto de soporte, aerogenerador y lámpara pueden ser pintados de cualquier color, pero dado el contexto cultural del Istmo de Tehuantepec se hará coincidir con los colores de dicha región, dando así un sentido de apropiación e identificación del objeto para los habitantes. La elección del color se basará en los colores con los que la gente pinta sus casas, caracterizándose por colores vivos como amarillo, rosa y azul (ver **figura 29**) en tonos pastel, usando por combinaciones de color llamativas a la vista, esta intención se mantuvo en el proyecto original “Xadany” en donde fue pintada para que fuera acorde a los colores de la cultura Istmeña, esta misma combinación se puede aplicar a la luminaria, previa consulta con los vecinos. Con esto se tratará de promover el interés y la curiosidad del usuario en la luminaria.

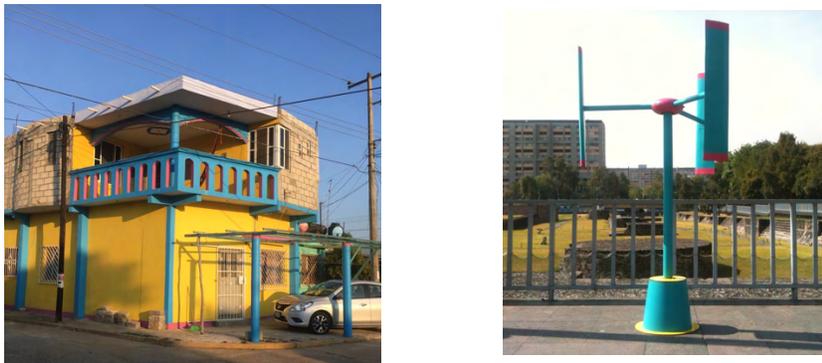


Figura 29. A la izquierda se puede ver una casa del fraccionamiento “La Noria” y a la derecha la propuesta de uso de colores que se usó en el proyecto “Xadany” y que pueden ser aplicados a la luminaria.

Cabe señalar que se deberán pintar los extremos del aspa superior e inferior del aspa con un color que contraste con el del resto, dado que al ser elementos dinámicos estos deben ser visibles de modo que se evite sean golpeados accidentalmente por algún objeto, así mismo esta distinción ayuda a que sean más visibles para las aves.

2.4.2 Estética (forma).

Cuando se habla de forma se busca determinar si las características formales del producto tienen congruencia con la función, esto se realiza observando las necesidades del usuario y la percepción subjetiva que le da al producto dada su forma.

La luminaria al ser un objeto contemporáneo se busca que sea percibido como un aparato de alta tecnología e innovador, pero al mismo tiempo se busca transmitir que es un aparato sencillo y de operación autónoma. Esto se puede ejemplificar en la base de la luminaria donde se decidió usar una forma tronco-cónica debido a que proyecta la imagen de "sencillez y simplicidad", dado que este elemento alberga todos los componentes centrales de funcionamiento y estos son "invisibles" al transeúnte, también se decidió colocar ahí todos los elementos ya que estos representan un peso extra y evitar así se repita la experiencia que se tuvo en el colapso de las luminarias de la carretera de Salina Cruz.

2.4.3 Acabados.

El aluminio cuenta con un acabado anodizado, lo cual evita la corrosión superficial, pero como medida extra y dada la salinidad del medio se deberá usar un acabado de pintura auto motiva, como se mencionó se pintará con colores acordes a la cultura del istmo, los cuales se toman con base a la gama de colores que predomina en las casas que están pintadas. Estos son en su mayoría colores que se usan en zonas costeras como son amarillo, azul, rosa y combinaciones de color de alto contraste, en algunos lugares se tiene a combinar el mismo color en dos tonos uno fuerte y el otro en tono pastel. En caso de que el cliente decida no pintarla puede aplicar un barniz transparente de modo que se evite el aluminio se opaque con la lluvia y el sol.

2.4.4 Uso de la celda solar.

El uso de la celda solar se justifica dado que es una fuente de energía necesaria para el funcionamiento de la luminaria, en esta la intervención de diseño ha sido mínima limitándose a colocar el tubo que la sostiene y este acoplado al poste, se implementó el uso de "cartabones" (ver **figura 30**) para reforzarla estructuralmente y evitar se cayera debido a los fuertes vientos.

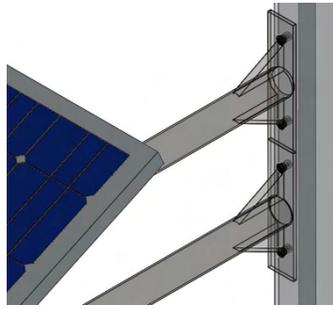


Figura 30. Tubo que sostiene a la celda fotovoltaica y a la lámpara que lleva reforzamiento estructural.

2.4.5 Materiales.

La selección de los materiales se basará en el aspecto de sustentabilidad, dado que es un producto enfocado a generar energía de fuentes renovables se tendrá congruencia en este aspecto. Se eligió el aluminio como materia predominante porque puede ser fundido y reciclado múltiples veces, además de que debido su ligereza y facilidad de maquinado es un material muy atractivo para el proyecto.

2.4.6 Forma.

La forma final será resultado de algunas consideraciones:

- Ergonomía visual.
- Mantenimiento sencillo.
- Interacción del usuario pasivo (transeúnte).
- Interacción del usuario activo (personal de mantenimiento).
- Evitar el vandalismo.
- Que sea durable.
- Que sea estéticamente atractiva.

2.4.7 Ergonomía visual.

Se busca que la luminaria sea adaptada al trabajo humano y por lo tanto se han tomado aspectos de ergonomía, por ejemplo:

- **Altura de la lámpara.**

La altura de la lámpara de 4071 mm desde al piso se justifica dado que a esa altura se evita el deslumbramiento, suponiendo que un usuario de estatura máxima de 1.80 m, la lámpara estará fuera del

campo visual directo del transeúnte y se mantendrá un ángulo de 0° de inclinación en el brazo ya que al ser una luminaria de tipo directa si estuviese lo suficientemente baja o con algún ángulo de inclinación afectaría la visión de los automovilistas y transeúntes.

- **Color de la luz.**

Se ha elegido luz blanca dado que refleja fielmente los colores y tiene más potencia lumínica, enfocándolo en el caso de la seguridad pública se refleja fielmente el color del tono de piel pudiendo identificar así más fácilmente a un posible delincuente. Aun cuando tonos de luz como el ámbar resulten proporcionar mayor confort visual se eligió la luz blanca debido a que el objetivo primario es dar seguridad al transeúnte.

2.4.8 Mantenimiento sencillo.

Se atenderá este aspecto poniendo énfasis en que todos los elementos a los que sea dar mantenimiento deben estar albergados en un solo compartimiento, salvo la lámpara y el rodamiento de la parte superior, para darle mantenimiento a estos elementos será necesario usar un andamio, se habla más detalladamente del mantenimiento en la **sección 5.8**.

2.4.9 Interacción del usuario pasivo con el producto (transeúnte).

Como se observo en la hoja de ruta, la interacción con el transeúnte es meramente pasiva, este usuario se limitará a transitar por el sitio donde este la luminaria, sin embargo, como se observo anteriormente se debe tener en cuenta los aspectos de ergonomía visual para este tipo de usuario.

Con la finalidad que se incremente la interacción del usuario se puede colocar una lamina sobre el poste a una altura de 1.60 m en la cual los habitantes coloquen carteles u hojas a fin de comunicar cualquier cosa, desde la promoción de eventos en el lugar, la búsqueda de mascotas extraviadas etc.

Otra manera de incrementar aún más la interacción usuario-producto es colocar un puerto USB y una banca, de modo que el usuario se siente mientras carga su dispositivo móvil.

Una alternativa sería el usar el poste como medio para difundir una alerta sísmica colocando un altavoz y conectarlo a la infraestructura de comunicación con el sistema sismológico nacional ya que recientemente se han suscitado varios sismos de gravedad en la región.

2.4.10 Interacción del usuario activo con el producto (personal de mantenimiento).

Este usuario se involucrara activamente con la luminaria al ser participe en el mantenimiento colaborara en el recambio de piezas, mantenimiento, engrasado y limpieza del panel fotovoltaico, ya que la luminaria deberá ser revisada cada cierto periodo de tiempo, por lo tanto será necesario colocar una compuerta, mediante esta compuerta serán accesibles los componentes funcionales como son el generador y los componentes electrónicos para que estos estén a nivel de piso y se acceda a ellos fácilmente.

Evitar el vandalismo.

El problema de seguridad no escapa al mobiliario urbano, por lo tanto, se tendrá este aspecto en cuenta al usar tuercas anti-robo y una chapa de seguridad en la compuerta de mantenimiento.

Que sea durable.

La luminaria deberá durar al menos 25 años, por lo tanto, se tendrá en cuenta este aspecto usando materiales que soporten la intemperie y el clima tan drástico que se caracteriza en el Istmo, por lo tanto, se decidió usar el aluminio ya que es un material altamente durable.

Que sea estéticamente atractiva.

La luminaria además de cumplir con su función deberá ser un llamado a la modernidad y a recordar a los habitantes del lugar que el mobiliario urbano puede ser también estéticamente atractivo y funcional.

2.4.11 Proyecto a futuro.

Técnicamente

Se plantea hacer una luminaria inteligente que tenga una tarjeta de circuito integrado Arduino la cual envíe y reciba información y datos mediante una red 3G acerca del comportamiento del viento, el comportamiento de la lámpara y el porcentaje de carga de la batería y si hay algún desperfecto o falla. Con la implementación de esta tarjeta lógica las posibilidades y capacidades se multiplican ya que por ejemplo se puede implementar un sensor de movimiento el cual detecte el paso de una persona o un auto y se comunique con las luminarias adyacentes del camino, logrando así un considerable ahorro de energía.

También se podría colocar una alerta sísmica que de aviso en sismos de magnitud considerable ya que en la zona del istmo se carece por completo de estas alarmas salvo en algunos centros comerciales grandes por ejemplo en la zona comercial pabellón Istmo en donde hay tiendas como Liverpool, Sam's club y

Walmart. Se plantea también la instalación de una cámara de video la cual envíe señal de video a un centro de control.

Economicamente.

Por el momento solo se cuenta con el prototipo de luminaria, pero se proyecta a futuro la creación de una empresa tipo “cooperativa” en la cual los miembros de esta aporten capital y salgan beneficiados directamente.

Esta cooperativa puede funcionar de modo que los habitantes del poblado adquieran la luminaria y mediante el ahorro de facturación por energía eléctrica se vayan pagando las luminarias, una vez que estén pagadas se podrán usar por el resto de la vida útil de las luminarias, esto se podrá lograr al hacer un prototipo rentable.

Modelo de negocio.

El modelo de negocio se basa en que los residentes del fraccionamiento, es decir los usuarios de las luminarias sean los mismos propietarios, administradores y empleados de la cooperativa y de este modo sean beneficiados en todos los sentidos. Ya que la inversión para las luminarias sería por parte del municipio de Salina Cruz cabe esta posibilidad.

Siguiendo este modelo de negocio se promueve que el fabricante esté comprometido con los usuarios los cuales serán ellos mismos y sus vecinos, lo que ayudaría a dar un servicio a su comunidad y obtener un ingreso de ello, pudiendo escalar este modelo a otros poblados.

Estrategia de crecimiento.

Se plantea la estrategia de crecimiento que podría llevar la empresa en tres etapas a corto, mediano y largo plazo.

Corto plazo (1 año).

Será necesario hacer un prototipo lo suficientemente rentable, una vez logrado esto se puede crear la empresa y tener una plantilla de al menos 8 empleados, un gerente general, dos personas de administración, tres de fabricación y dos de instalación. De modo que pueda arrancar la empresa, se considera se podrán realizar al menos 12 instalaciones de luminarias de modo que el cliente al ver su óptimo funcionamiento se verá motivado a comprar un mayor número de luminarias.

Mediano plazo (3 años).

Durante los próximos 3 años la cooperativa habrá crecido según la expectativa de ventas de 6 veces lo que se generó el primer año, es decir 72 luminarias, se espera que en el segundo año el número de instalaciones aumente considerablemente al ver que las luminarias funcionan y son eficientes, también se espera obtener la certificación FIDE la cual le dará el valor agregado de ser un producto de alta eficiencia energética certificado por un organismo de CFE.

Largo plazo (4 o más años).

Es complejo hacer una estimación a largo plazo, pero en caso de funcionar adecuadamente la estrategia a mediano y largo plazo se espera se pueda completar la meta de tener todo el fraccionamiento con luminarias eólico-solares.

CAPÍTULO III
DISEÑO DE LA LUMINARIA

DISEÑO DE LA LUMINARIA.

En este capítulo se conjunta una propuesta de diseño de producto con base a lo anteriormente planteado (requerimientos de diseño, estudio técnico y principios de diseño). Se describirán los ensambles y se detallarán los planos del producto. El producto final consta de los siguientes elementos que conformarán la luminaria:

- Luminaria(lámpara).
- Turbina eólica.
- Generador eléctrico.
- Panel solar.
- Sistema de carga.
- Sistema de acumulación de energía.

3.1. Elementos que conformarán la luminaria.

3.1.1 Lámpara led.

Demanda eléctrica por cubrir.

La demanda eléctrica a cubrir va en función de la cantidad de iluminación requerida, y la cantidad de iluminación requerida esta en función del número de luminarias instaladas en la calle o avenida, por lo tanto, como este es un estudio meramente experimental se determinará la demanda eléctrica a cubrir en base a una sola luminaria existente de tipo LED que tenga capacidad de iluminar un tramo de calle de 18 m² (ver **figura 31**) ubicado en la calle principal haciendo esquina con la avenida o oriente, este tramo carece por completo de iluminación y donde según indican los vecinos a lo largo de las vías del tren se han registrado incidentes delictivos.

Para determinar el consumo que tendrá la carga (lámpara) se tienen los siguientes datos (**tabla 17**):

LÁMPARA	
Potencia lámpara (W)	12
Cantidad de flujo luminoso	1000 Lm
Iluminancia	53 Lux
Altura de montaje	2-6 metros
Área de iluminación a una altura de 3 a 4 metros.	18.7 m ²
Corriente (A)	1
Voltaje (V)	12
Horas de trabajo al día (hrs)	11
Protección contra el agua	IP 65
Demanda de energía de la lámpara al día (Wh al día x horas)	132
Demanda de energía de la lámpara al día (kWh al día x horas)	0.132
Demanda de energía lámpara (kWh al año)	48.18

Tabla 17. Características eléctricas de la lámpara LED.

Por lo tanto, se tiene un valor de consumo de la lámpara **de 0.132 kWh/día**, considerando que la luminaria esté encendida durante 11 horas diarias durante todo un año, se puede determinar la demanda energética para el año multiplicando el consumo diario por 365, resultando un valor de **48.18 kWh al año**.

Se eligió alimentar una lámpara de 12 W tipo LED para tener un margen de generación eléctrica suficiente y que la energía almacenada en las baterías no se agote rápidamente debido a un alto consumo de la lámpara. Sin embargo, para mantener la lámpara de 12 W durante un periodo de 11 horas, es necesario almacenar suficiente energía en las baterías, dado que aún no se puede conocer con certeza la cantidad de horas al día que incide el viento o el sol al día. Se decidió hacer una luminaria híbrida que tuviera dos fuentes de energía, una fuente de energía eólica y otra fuente de energía solar fotovoltaica debido a que estos son los recursos energéticos que abundan en el sitio donde se usará. Estas fuentes se diseñarán con la intención de que la batería no se descargue durante un periodo de 11 horas, este es el tiempo que permanecería encendida la luminaria durante la noche y que la batería mantenga un voltaje de al menos 9 volts, este es el mínimo voltaje al que enciende la luminaria.

3.1.2 Fuente de energía- turbina eólica

Se estudiarán los métodos que son necesarios para el diseño de la turbina eólica de eje vertical.

3.1.3 Diseño del rotor de eje vertical tipo ciclo-giro.

La expresión para la potencia obtenida del aire en movimiento:

$$P_{\max} = \frac{1}{2} C_p \rho a v^3 \quad (1)$$

Donde:

P_{\max} = Potencia mecánica máxima (W).

C_p = Coeficiente de potencia (Adimensional).

ρ = Densidad del aire (kg/m^3).

a = Área barrida (m^2).

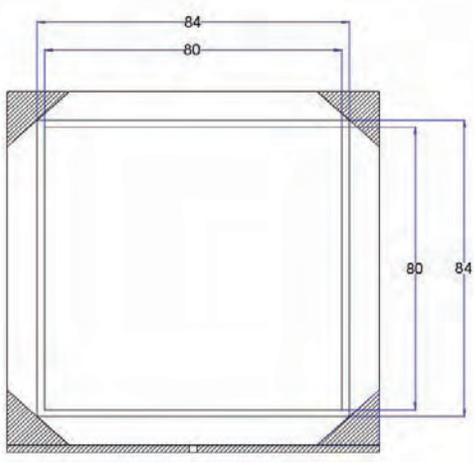
v = Velocidad de viento (m/s).

En la ecuación (1) podemos ver que la potencia de un aerogenerador es dependiente de la velocidad promedio de la masa de aire (elevada al cubo), cabe señalar que el coeficiente de potencia se refiere al porcentaje de potencia que la turbina es capaz de extraer del viento, este porcentaje se puede encontrar en tablas según el tipo de rotor. Por lo tanto, esta es la ecuación más importante para el diseño de aerogeneradores. Para verificar el funcionamiento del prototipo se probará bajo dos escenarios, uno bajo condiciones ideales y otro bajo condiciones reales, es decir en el contexto específico seleccionado. Para el caso de las pruebas bajo condiciones ideales se considerará fabricar el prototipo a escala 1:1. Se eligió usar esta escala debido a que es necesario probar el rotor de la turbina eólica trabajando en condiciones reales junto con los demás componentes eléctricos y electrónicos. Por lo tanto, se decidió probarlo en el túnel de viento del laboratorio de arquitectura bioclimática de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco.

El túnel tiene en la sección de prueba dimensiones de 1x1 metro, sin embargo, debido a que tiene un ducto, este ducto hace la función de incrementar la presión en la sección de prueba provocando un efecto Venturi, solo se cuenta con una sección disponible de 0.84 x 0.84 metros (ver **figura 34**). Aunado a esto, debido a los efectos de presión que surgen en las paredes del túnel al estar girando el rotor y a sus efectos que surgen en las paredes del túnel se determinó ocupar un 90 – 95 % del área total disponible, con esta

Aψ, έQ θ g ρόν Nδf θ CFvg ά ό v2, h ό θ NρόνέN ό v g άό AέU Nρό Nά Hγνά Uό CήgN. z Ov vά- Uέ N v

 όν, , θ g Hέgό v Uέά Wάέ, O AέU v γ vά Hγνά όν U N " " f v H ό



Rθ Cέ " " Dv, , θ g Hέgό v Uέά Nά Hγνά N " & gh Nά ά x. Uέ h U N v έ z Ov, H Cέ x8, θ - H έ

Dv0 Vg ά v, Cέ, θ g ρόν A Ov N " v U z Ov vά Uέ xέ U Nέ N vά h U vό N v, hέf v g h v A U A. U 8 géáé ά A h v g, θ z Ov ά H Cέ v g h v U ó U A. Uά hέgh ρόν N v, θ θ Cόέ U h Nέ vά Uέ NδA. g & ά v g vά Hγνά vό N v, θ U vά h U h v g N U θ άό N θ v g ó 8 g vό N " " f v H ό Aέ U ά x h v g Uέό B ά f - " θ έ A h v g, θ F v ά f - " θ . h U z Ov Cά Hγνά όν Hέ hέ U v g vά A U " θ . U έ A B C ά Mέ Uέ N v h U θ έ U ά A h v g, θ f - " θ έ z Ov A. N U θ v " Hέ v U C gé H Cέ θ έ v) θ έό O A. g & g N) A θ έό. g N θ 8 g vό f v, - g θ έό όν h v g N U g ά ό θ C θ g h vό Nέ h ό N v g h Uέ Nέ έ - έ " "

Pí g í - á	Pí g g
ρ	" "
A N v é á U h U l é U θ C	" "
ά Cέ N vά h U f	" "
l 8 f v H U f - " θ . N vά h U f	" "
Z U é N vά h U f	" "
ó A é ó	" "
í v á, θ N N v " & gh f f ó	" "

í é x ά " " í é á U vό N v g h Uέ Nέ Aέ U έ θ C ά U vά h U v) θ .

-
-
-
-
-
-

Dentro de los distintos tipos de configuraciones de rotor eólico se eligió la configuración de rotor Darrieus tipo H, además este cuenta con un solo brazo que sostiene el aspa de modo perpendicular, también se eligió este diseño debido a que es la configuración más sencilla y económica de fabricar, con esto se logra uno de los principios de diseño a seguir.

Para el cálculo de las dimensiones del rotor y de la longitud de la cuerda del perfil aerodinámico se tomarán en cuenta los siguientes datos de viento obtenidos del mapa SIGER del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) mostrados en la **tabla 19**. Cabe señalar que este sitio está señalado como un sitio con potencial eolo eléctrico, por lo que sería viable colocar ahí la luminaria.

Estado: Oaxaca

Municipio: Santo Domingo Tehuantepec

Área urbana: La Noria

Coordenadas: Longitud: -95.22238; Latitud: 16.25268

DATOS DE VIENTO SEGÚN COORDENADAS	
Densidad de potencia a 80 m (W/m ²)	618
Densidad de potencia a 50 m (W/m ²)	505
Velocidad de viento promedio a 80 m (m/s)	8
Velocidad de viento promedio a 50 m (m/s)	7.48

Tabla 19. Datos anuales de viento promedio de la Noria, Oax.

(IIE. 2018)

Sustituyendo los datos anteriores en la ecuación (1) se obtiene que la potencia mecánica máxima ideal en el eje suponiendo una eficiencia ideal máxima C_p de 0.4 y una velocidad de viento de 8 m/s es:

$$\text{Potencia teórica máxima} = 64.28 \text{ W}$$

Es decir, teóricamente por ningún medio se podrá obtener más potencia que esta, así se usen los mejores materiales y componentes ya que técnicamente no es posible.

□

□

□ j l si dē t pi í i g pu Fz usí pi edi gne

Dv. f vgúéU Nv2g8gN íá ó. g, vAh ózOv'ón OóéU gvgv'oré'ón, , 8 g

□ Ji gpi pi JI di gneí i g pu Fz usj C'ó á N8'ég, & Nv" Hv f . é v" Hv f . Nv Oq Av Uáév U N8- f 8. □

□ j i nsú l é pi Cj á l sú d r g N8 é á v 2 8 g, & Nv" H é, , 8 g Nv á v g v O E N8 A g á v g á . U & gh Nv " & gh □

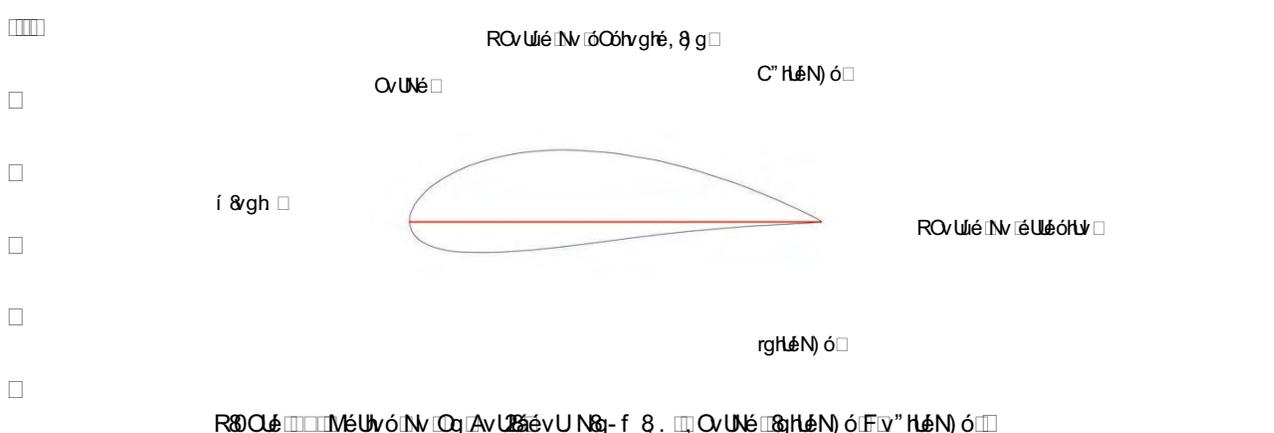
□ j i nsú l é pi í g t é j p C g f v, - g 8 é Nv 2 O N ó v ó á 2 O v l é . g á z O v ' ó n f 8 Nv á v r ó 8 h v g, & Nv O q . x o y h é á . U & gh Nv O q 2 O N v ó r é 2 O v l é Nv é l é o' h v ' ó n A g v i é á N8 , , 8 g Nv á . U & gh Nv á 2 O N . □

□ j i nsú l é pi t Jt é l é s u l e C g f v, - g 8 é Nv 2 O N ó v ó á 2 O v l é é o, v g Nv g h 0 v g v l é N é A U O q , O v l a . z O v ' ó n Nv A é u é é H é " w ó Nv O q 2 O N v ó r é 2 O v l é Nv ó O h v g r é, 8 g v ó Av U v g N8 O á U é á N8 , , 8 g Nv Nv A é u é f & gh Nv á 2 O N □

□ l o j é pi u s u p i l s ú j pi u s a l í s u l pi edi gne e l á C'ó v á g 0 C á 2 U é N A U á N8 , , 8 g Nv á , . U & gh Nv " & gh F á O v N é Nv á Av U á é v U N8- f 8. □

D é j p 1 t C'ó á A é U v 8 h v U Nv O g é v ó h U h C l é v U N8- f 8 é v g O q Av U á é v U N8- f 8. v ó á A é U v 8 2 v l U Nv á f 8 f . v U n o j g □ □ □ □

□ c é j p 1 t C'ó á A é U v " h v U Nv O g é v ó h U h C l é v U N8- f 8 é v g O q Av U á é v U N8- f 8. v ó á A é U v ó Av l U Nv á f 8 f . v U n o j g □ □ □ □



□

□

□ □

URT 1 k Ti é sull pi vi é supí p pi j gpi

Có á U á, g v g h á á vá, Né Nég 0 v g, á F á á vá, Né N v á g h

$$R3 \frac{PF}{2}$$

I . g N

U n é N N á U h U f

ó á vá, Né Nég 0 C á U L é N ó

) á vá, Né N v á g h í ó

Mé lé á ó é á ó N á U h U ó n A A U ó é U g Av U á é ó w h . v ó h Av U á v ó C é N . f W g v g h v g h C á g é ó N v v q á v U á é á D v ó n á , , g) á v á U á é v U N g - f . N á é ó n U G á v U n o J g N x N é z O v ó h v ó C é N v g U ó f . N á ó N h C á g é ó v á é ó z O v é U é g , é g é x é á á vá , Né N í é f x g v ó n á á v ó h Av U á é v U N g - f . N x N é z O v h g v C g é U á , g g é á é N á . v á g h v N ó C h v g h é , g g F N á . v á g h v N v é U é ó h v ó h g N é z O v ó n U á . L é x á A é l é x h v g U C g . f A U é f g h é v U N g - f . é N v , C é N



R3 C á U L é N ó M U á é v U N g - f . ó n U G á

Ruz J é sull í i g pù Fz usí pi edi gre

Mé lé á ó á U á , . f A U é f g h é v U N g - f . N á Av U á ó n C ó v á A U 0 l é f é N v á ó á C á , g g s x á N v í v l ó g v ó h v ó . 2 L é U ó á v á é l é á ó á U Av U á v ó é v U N g - f . ó F C á g é ó v) á é ó N v v q 1. U . g h é á F á v U á é á . g h C á , g g ó n A C v N á v U á ó N é h ó z O v ó n C é U g A é l é á ó á U á . f A U é f g h é v U N g - f . N á Av U á x ó n U é g N z O v á á á , g g á N . v á g h v N ó C h v g h é , g g á ó . x v . v á g h v N v é U é ó h v N h g v C g é á U N v é C g g 0 C á N v g , á é , g g N v 9 á v U á - é v g h v . U á N v é v U N g - f é N v Av U á v g h v í - ó é á é v é v ó h á á , g g í é F . U v á g , á h v g N U á h C á g é

Análisis de resultados

Con la simulación se puede realizar un análisis donde se puede ver los tres valores más altos para cada simulación obtenida, se puede ver en la **tabla 21** como los dos valores máximos de potencia se presentan en las configuraciones de 0.28 m y 0.20 m, mientras que en las gráficas de Cp contra v, Cp contra TSR y Cp contra RPM se presenta un mejor Cp en la cuerda de 0.10 m.

Simulación / Valor max.	1°	Valor max. eje de las ordenadas	2°	Valor max. eje de las ordenadas	3°	Valor max. eje de las ordenadas
Pot. contra v	0.28 e.adentro	15 W	0.20 e.adentro	13 W	0.10 e.adentro	11 W
Cp contra v	0.10 e.adentro	0.39	0.10 e.afuera	0.28	0.20 e.adentro	0.27
Cp contra TSR	0.10 e.adentro	0.45	0.10 e.afuera	0.44	0.28 e.adentro	0.4
Cp contra RPM	0.10 e. adentro	0.39	0.10 e.afuera	0.28	0.20 e.adentro	0.27
T contra v	0.28 e.adentro	0.65 Nm	0.20 e.adentro	0.5 Nm	0.10 e.adentro	0.45 Nm

Tabla 21. Valores máximos para cada configuración según la simulación del rotor bajo condiciones teóricas en la simulación DMS (extradós hacia adentro=e. adentro y el extradós hacia fuera= e. afuera).

3.1.6 Simulación LLT (lifting line theory).

El método LLT proviene de una familia llamada “métodos de vórtices”. En términos de costo computacional, complejidad y modelado físico los métodos de vórtice están situados entre el método BEM (Blade Element Momentum) y el CFD (Computational Fluid Dynamics), siendo este último el método más completo de simulación en mecánica de fluidos. Se realizó esta simulación teórica de la turbina bajo condiciones de viento específicas, es decir esta simulación es más completa y se acerca más a la realidad que la anterior (similar al método BEM), los resultados se pueden ver en la **tabla 22**.

Variable / Configuración	0.1 e. adentro	0.1 e. afuera	0.20 e. adentro	0.20 e. afuera	0.28 e. adentro	0.28 e. afuera
Cp	0.069	0.069	0.1	0.1	0.11	0.11
Potencia mecánica en el eje	27 W	27 W	42 W	42 W	44 W	44 W

Tabla 22. Valores de potencia mecánica para tres tamaños de cuerda y configuraciones del rotor.

Análisis de resultados.

Analizando ambas simulaciones se puede observar que en el primer caso (Simulación DMS) la ventaja recayó en las configuraciones de 0.28 m y 0.10 m hacia adentro, en el segundo caso (Simulación LLT) se observa claramente que a mayor longitud de la cuerda mayor potencia y mayor eficiencia, se observa que la configuración de 0.28 m es la más destacada, sin embargo los valores son muy cercanos a la configuración de 0.20 m y debido a que son 8 centímetros extra de material seguramente se tendrían un ahorro económico significativo multiplicado por las tres aspas en el aspecto de costos y también una reducción el peso del rotor, por lo tanto esto incide directamente en la facilidad de arranque. Respecto a la posición de extradós se observa claramente según la simulación DMS que la configuración del extradós hacia adentro es la más favorable.

Otro factor importante es que la simulación LLT es más completa y se acerca más a la realidad, por lo tanto, **la cuerda que de modo general presenta mejores resultados es la cuerda de 0.20 metros con el extradós hacia adentro del eje**, este tamaño de cuerda se usará debido a que se proyecta se obtengan los mejores resultados en la relación de eficiencia-tamaño.

Según la simulación DMS en el eje se entregan 13 W de potencia mecánica, mientras que en la simulación LLT menciona se generan 42 W (ver **tabla 23**), por lo tanto se puede esperar una potencia mecánica en el eje en este rango, cabe aclarar que esta no es la potencia eléctrica, la cual implica un proceso de conversión de la energía mecánica a eléctrica, y se puede esperar que la potencia eléctrica entregada por el generador sea un poco menor debido a pérdidas de eficiencia, sin embargo se puede ver que aun en el peor de los casos podría cubrir la demanda de la luminaria de 12 W en caso de haber viento constante.

Pot. Mecánica en el eje min. @8 m/s DMS	Por. Mecánica en el eje max. @ 8 m/s LLT
13 W	42 W

Tabla 23. A la izquierda Potencia mecánica en el eje calculada por la simulación DMS y a la derecha simulación LLT (*lifting line theory*).

3.1.7 Sistema de arranque.

Se propone como aporte al diseño la implementación de un sistema de arranque, este sistema se basará en un rotor tipo Savonius colocado dentro de los brazos de las aspas, la forma del captador será un 30% de la parte inicial del perfil NACA 0018, y se usará la forma aerodinámica del perfil para contrarrestar el arrastre del viento, este captador estará hueco a fin de que capte la mayor cantidad de viento, también se implementarán unas costillas de modo que estas ayudaran a crear empuje a determinados ángulos y servirán como soporte estructural de los captadores (ver **figura 38**).

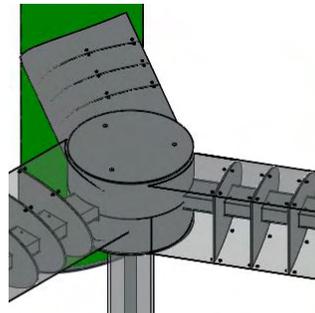


Figura 38. Sistema de arranque basado en captadores Savonius colocados en los brazos de las aspas (Transparencia).

3.2. Panel solar fotovoltaico.

A continuación, se mostrarán los elementos para el dimensionamiento del panel fotovoltaico.

Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico.

La celda fotovoltaica se usará como medio de generación y en caso de no funcionar el sistema eólico esta celda pueda generar un 60% de la energía requerida por el sistema, esto dependerá de las horas de sol disponibles y la cantidad de energía contenida en el sol. Para la generación de energía fotovoltaica es necesario evaluar el recurso solar, esto es de gran importancia ya que de esta evaluación dependerá el correcto funcionamiento del sistema, y por lo tanto el diseño del sistema fotovoltaico dependerá de la

irradiación solar del lugar, esta se obtuvo del mapa SIGER del IEE (ver **tabla 24**). Para saber los datos de irradiación es necesario conocer el promedio de irradiación durante todo el año, se han obtenido estos datos del lugar de medición más cercano al sitio en el municipio de Salina Cruz.

Lugar	Ene	Feb	Mzo	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom. Anual
Salina Cruz, Oax.	4.9	5.7	5.8	5.5	6.0	5.4	5.9	5.6	5.0	4.9	4.8	4.4	5.3

Tabla 24. Irradiación solar en Salina Cruz, Oaxaca (datos en kWh/m² por día).

(IEE. 2018)

El **valor promedio anual es de 5.3 kWh/m² por día**, este es el valor que se usará para determinar el tamaño del panel. Usando la ecuación (2) para el cálculo de la potencia del generador solar se tiene:

$$P_{FV} = \frac{E}{\eta R_{\beta}} \quad (2)$$

Donde:

P_{FV} : Potencia del generador fotovoltaico (*kW*)

E : Consumo eléctrico diario total (*kWh/día*)

η : Rendimiento medio del sistema (se tomará como 0.8)

R_{β} : Valor promedio mensual de la irradiación diaria sobre el módulo fotovoltaico con un ángulo de inclinación β (*kWh/ m²·día*)

Sustituyendo el valor de la demanda de la carga (lámpara LED) en la ecuación (2), se obtiene:

E : 0.144 *kWh/día*

η : 0.8

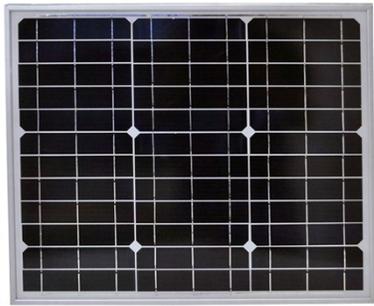
R_{β} : 5.3 *kWh/ m²·día*

por lo tanto:

$$P_{FV} = 0.033\text{kW} = 33 \text{ Watts}$$

Se obtiene un valor de potencia del generador fotovoltaico de **33 W**. Por lo tanto, se eligió un panel Mono cristalino con una potencia lo más aproximada a la requerida, encontrando el siguiente modelo disponible en el mercado de la marca “Master” (ver **figura 39**) esta celda cubre los requerimientos del sistema, sus características técnicas son:

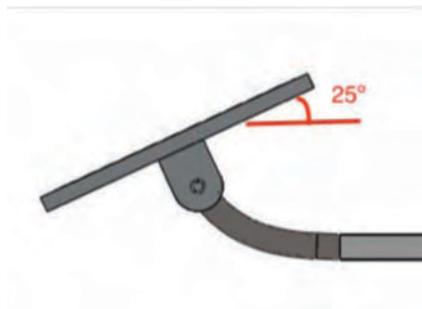
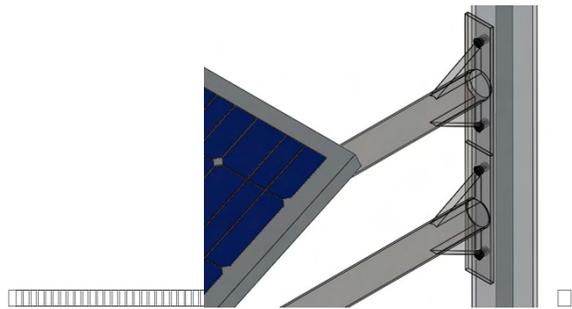
I . Nvá f A, váé y
 M hvg, f - " f é y
 í . ácy f - " f . ,N
 . Ughv f - " f é
 í . ácy é, h éx&Uh ,N
 . Ughv N, U, h
 i vf A N, AvLé, g, S, ,
 I éh áó8
 i A N, váé f . g . , áéé
 C&g, é
 I f vg8 gvó f f f f f
 Mvó. j0



RóCé váé 2 h " . áé f éUé éóhU

éóhU

éxvón (éáUzOv á, váé 2 h " . áé évóréU gNé éáA óh f vNéghv gxléú. . g gOá éQréxá Fvón
 éOgxléú. vón xléú. vón Uf é, 1éN. Aél v " f éUx. ónoJg N f . N zOvón " éUv vá gOá N
 é, OvUN éáó8 N gNvón. á zOv Fvón Nv vgvá gOá N gNv éAv váó. áNéghv h Néó áóWA , éóNvá
 é (. vá gOá N, áé, g g) Af . vgváó8 vóN 9noJg FNxvU vóréU UghNé é, éváóU



RóCé á zOv UNé óNv éAv, éUé 2, g Nváxléú. N á, váé éáA óh f vNéghv Uf é, 1vó éá Nv, 1é
 á xé0Lé zOv AvU v " éUvá gOá N, áé, g g N á, váé

i l i g p j g i ééésj

gOvgLéN. Uváv, H. vóOg éAéLéh , éAéúNv f éghvgvUg éNvUg, é Nv A. hvg, éághv óóhU áéáó
 Nv f . N zOv Hégó2 U v ávgvUé f v, - g éU h é évgvgvUé váv, H é

Udj t pi oi l i g p j g t

Dv AOVNg, áó8 éUónOv váA N vgvUé zOv Oéég éFvOvgLéN UvóN
 é . Ughv Nv, h é I

-
-
-
-

$$\lambda = \frac{2\pi nr}{60v} \quad (3)$$

Donde:

λ : Relación de velocidad de borde.

n : Revoluciones por minuto RPM.

r : Radio del rotor (m).

v : Velocidad de viento (m/s).

Los requerimientos de RPM lo podemos deducir de los valores para la velocidad específica de borde λ despejando la variable “n” de la ecuación (3), estos valores son los resultados de la gráfica que se obtuvo de la simulación del software Qblade y se muestran en la **tabla 25**.

λ	1	2	3	4	4.8
Vel. viento (m/s)	8	8	8	8	8
Radio del rotor (m)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
RPM	190	381	572	763	916

Tabla 25. Rango de valores de la velocidad específica de borde de acuerdo con los resultados obtenidos del software Qblade.

Según la teoría de diseño turbinas eólicas de eje vertical recomienda que el valor λ sea $3 < \lambda < 7$, sin embargo, este valor es elevado respecto a turbinas similares, que manejan rangos de 300-400 rpm, por lo que se tomará un valor más cercano a la realidad, es decir $1 < \lambda < 2$, por lo tanto se espera que la turbina funcione en un rango de 190 a 381 RPM a una velocidad de viento de 8 m/s.

RPM DEL ROTOR EÓLICO: 190 a 381 RPM @ $v= 8$ a 10 m/s.

Con estos datos de velocidad RPM se probaron un total de 3 generadores (ver **tabla 26**) los que destacaron por acercarse a los requerimientos del rotor eólico.

Generador	Descripción	País de origen
1	Trifásico síncrono CA de imanes permanentes de neodimio	China
2	Monofásico DC de imanes de ferrita	EUA
3	Monofásico DC de imanes de ferrita con caja multiplicadora	Alemania

Tabla 26. Generadores eléctricos candidatos para usarse en el rotor eólico.

3.3.3 Metodología de experimentación.

Objetivo del experimento: Se obtendrá la curva de Potencia contra RPM para cada uno de los 3 generadores candidatos, se medirá el voltaje en CD (en el caso de generador trifásico de CA se convertirá a CD por medio de un puente diodo rectificador) y la corriente que entregue cada generador a distintas RPM según el siguiente circuito (ver **figura 43**).

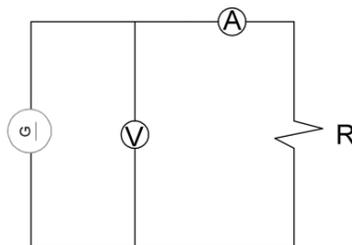


Figura 43. Circuito para medir el voltaje (V) y la Corriente (A) de los tres generadores candidatos

Donde:

A. Corriente (A).

V. Voltaje (V).

R. Resistencia (Ohm).

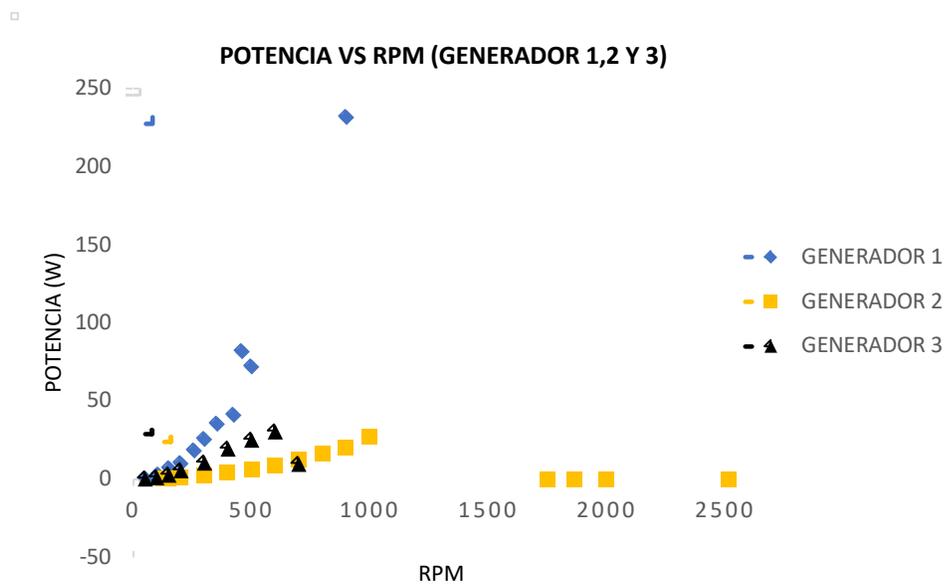
Equipo necesario para el experimento:

- Amperímetro.
- Voltímetro.
- Tacómetro óptico
- Resistencia variable.
- Caimanes.
- Taladros eléctricos de 500 y 700 W de potencia respectivamente.
- Puente diodo rectificador.

3.3.4 Análisis de resultados de las pruebas a los generadores.

Según los resultados obtenidos en la **gráfica 1** se puede observar claramente la ventaja del generador 1, este proporciona una alta potencia a un número relativamente bajo de RPM. Como se usará en un rango de 190 a 381 RPM según la simulación de RPM de Qblade se puede predecir que tendrá una potencia entre 20 y 40 W eléctricos dependiendo de la velocidad de viento. Este rango de trabajo cumple con la necesidad para satisfacer la demanda de la luminaria, debido a que requiere de una fuente energética de 33 W. Otro factor importante será el torque que presente el generador en oposición al giro del rotor.

El generador que presentó un desempeño bueno a bajas RPM fue el generador 3, se debió a que cuenta con una caja multiplicadora integrada, y eso ayuda a que entregue más potencia, sin embargo, el torque se incrementa mucho, este generador se descartó debido a este factor además de que se genera sobrecalentamiento en la caja multiplicadora después de las 600 RPM, esto puede indicar que aun a menores RPM se genere sobrecalentamiento que no se perciba y por lo tanto es probable que exista desgaste prematuro en los engranes. El generador 2 presentó un desempeño similar al generador 3 pero este necesita de un número mayor de RPM para entregar la misma potencia, por esto se descartó también este generador.



Gráfica 1. Potencia contra RPM para los tres generadores.

En conclusión, **se usará el generador 1** debido a que presenta un buen desempeño para generar electricidad a bajas RPM. Ahora se describirá la potencia resultante de este generador (ver **tabla 27**).

POTENCIA GENERADOR 1 SELECCIONADO. Trifásico síncrono CA de imanes permanentes de neodimio.	
Potencia	20- 40 W
RPM rotor eólico @ 8m/s-10m/s según simulación Qblade	190-381 RPM

Tabla 27. Potencia eléctrica del generador 1 a RPM de trabajo del rotor eólico y en el renglón de abajo los datos de RPM del rotor simulado en Qblade.

3.4. Sistema de carga.

Diseño del sistema híbrido.

Al conjuntar la energía eólica junto con la energía fotovoltaica se obtiene una eficiencia del sistema mejor y por lo tanto una rentabilidad mayor del producto. Por lo tanto, es necesario combinar las dos fuentes energéticas, para lograr esto se seleccionará un controlador de carga híbrido.

Controlador de carga híbrido. Distribuye la corriente y el voltaje de las fuentes de energía solar y eólica de modo que no interfieran entre si y se entregue a la batería un voltaje constante.

Este se seleccionará en base a la potencia máxima que ambas fuentes energéticas pueden generar.

Potencia máxima sistema eólico: 40 W

Potencia máxima panel solar: 30 W

Se encontró disponible el modelo JW 12/24 (ver **figura 44**), este tiene las siguientes características:

Modelo: JW 12/24

Voltaje nominal del sistema: 12V / 24V (identificación automática)

Módulos fotovoltaicos (PV) Potencia: 400 W (máx.)

Energía del generador de energía eólica: 600 W

Corriente de carga: 37.5 A

Desconexión por sobrecarga (cc): 21.8 V \pm 1%

Corte por sobretensión (cc): 32.0 V \pm 1%

Modo de control: PWM (*Pulse With Modulation*)

Nota: PWM es una técnica para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

donde:

η_{bat} : Eficiencia de la batería durante la descarga (aprox. 0.9)

E_a : Consumo de energía anual (kWh/año)

V_{bat} : Voltaje de la batería (V)

PD_{bat} : Profundidad de descarga de la batería

Se elegirán baterías tipo VRLA (plomo ácido regulada por válvula), estas tienen la ventaja de no necesitar ningún tipo de mantenimiento, además su ciclo de descarga es mayor. Las baterías de la marca OSONIX (**figura 43**) cumplen con estos requerimientos.

Por lo tanto, tendrá 1 día de autonomía suponiendo que no exista disponibilidad de ningún recurso energético. Sustituyendo los datos en la **ecuación 4**, se obtiene que:

$$\text{Tamaño de la batería (kWh)} = 0.183 \text{ kWh}$$

Para determinar el tamaño de la batería en AH se sustituyen los datos en la ecuación (5) y se obtiene que:

$$\text{Tamaño de la batería (Ah)} = 18 \text{ Ah}$$

Por lo tanto, se propone usar una batería de 18 Ah de la marca Osonix, se describen sus características en la **tabla 28**.

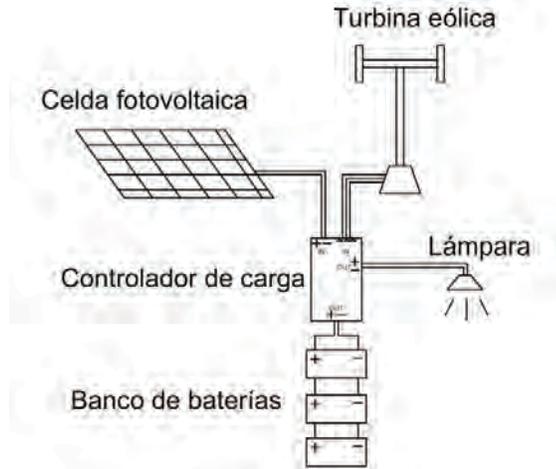
CARACTERÍSTICAS DE LA BATERÍA	
Tamaño de la batería (kWh)	0.18
Días de autonomía de la batería (teórico)	1
Días de autonomía de la batería (empírico)	1.45
Eficiencia de la batería η bat.	0.9
Energía demandada por la carga (kWh)	48.18
Profundidad de descarga de la batería (PD bat.)	0.8
Voltaje de la batería (V)	12
Tamaño de la batería (Ah)	15.27
Costo de la batería (\$)	500
Cantidad de baterías (18 Ah c/u)	1

Tabla 28. Características de la batería OSONIX DE 18 Ah.

(SECOVI. 2018)

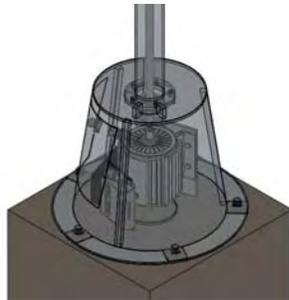
Πύργος Ήλιου και Πύργος Άνεμου

Ο κύριος σκοπός της εργασίας αυτής είναι η κατασκευή και η λειτουργία ενός μικρού ηλεκτρικού συστήματος που μπορεί να τροφοδοτηθεί από δύο διαφορετικές πηγές ενέργειας, τον ήλιο και τον άνεμο. Το σύστημα αυτό αποτελείται από μια φωτοβολταϊκή κελύφη, μια ανεμογεννήτρια, έναν φορτιστή, μια μπαταρία και μια λάμπα.



Η λειτουργία του συστήματος είναι η εξής: Η ανεμογεννήτρια και η φωτοβολταϊκή κελύφη παράγουν ηλεκτρισμό, ο οποίος αποθηκεύεται στην μπαταρία και χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει τη λάμπα.

Η ανεμογεννήτρια που χρησιμοποιείται είναι της εταιρείας 'Eolios' και έχει ισχύ 20W. Η φωτοβολταϊκή κελύφη που χρησιμοποιείται είναι της εταιρείας 'SunPower' και έχει ισχύ 5W. Η μπαταρία που χρησιμοποιείται είναι της εταιρείας 'Duracell' και έχει χωρητικότητα 12Ah. Η λάμπα που χρησιμοποιείται είναι της εταιρείας 'Osram' και έχει ισχύ 5W.



Ο κύριος σκοπός της εργασίας αυτής είναι η κατασκευή και η λειτουργία ενός μικρού ηλεκτρικού συστήματος που μπορεί να τροφοδοτηθεί από δύο διαφορετικές πηγές ενέργειας, τον ήλιο και τον άνεμο. Το σύστημα αυτό αποτελείται από μια φωτοβολταϊκή κελύφη, μια ανεμογεννήτρια, έναν φορτιστή, μια μπαταρία και μια λάμπα.

3.5.1 Accionamiento de la lámpara.

La lámpara se encenderá automáticamente mediante una pequeña celda sensible a luz, esta se encuentra en el extremo superior de la lámpara y es del tamaño de una moneda, este sensor esta monitoreando continuamente la cantidad de luz, en caso de que esta menor a 40 Luxes se encenderá automáticamente y dejara pasar la corriente de la batería, de igual modo al superar los 40 Luxes se apagara automáticamente.

3.6. Diseño final de la luminaria eólico-solar.

Se presenta a continuación el diseño final del prototipo (ver **figura 46**) según las especificaciones anteriormente descritas. Este diseño fue realizado en vista isométrica en el software Solid Works (versión 23; 2018).



Figura 46. Diseño final en vista isométrica de la luminaria incluyendo la base de concreto donde se anclará.

Se muestran las vistas: frontal (A), lateral derecha(C), lateral izquierda (B) y superior (D) del diseño final de la luminaria (**figura 47**).

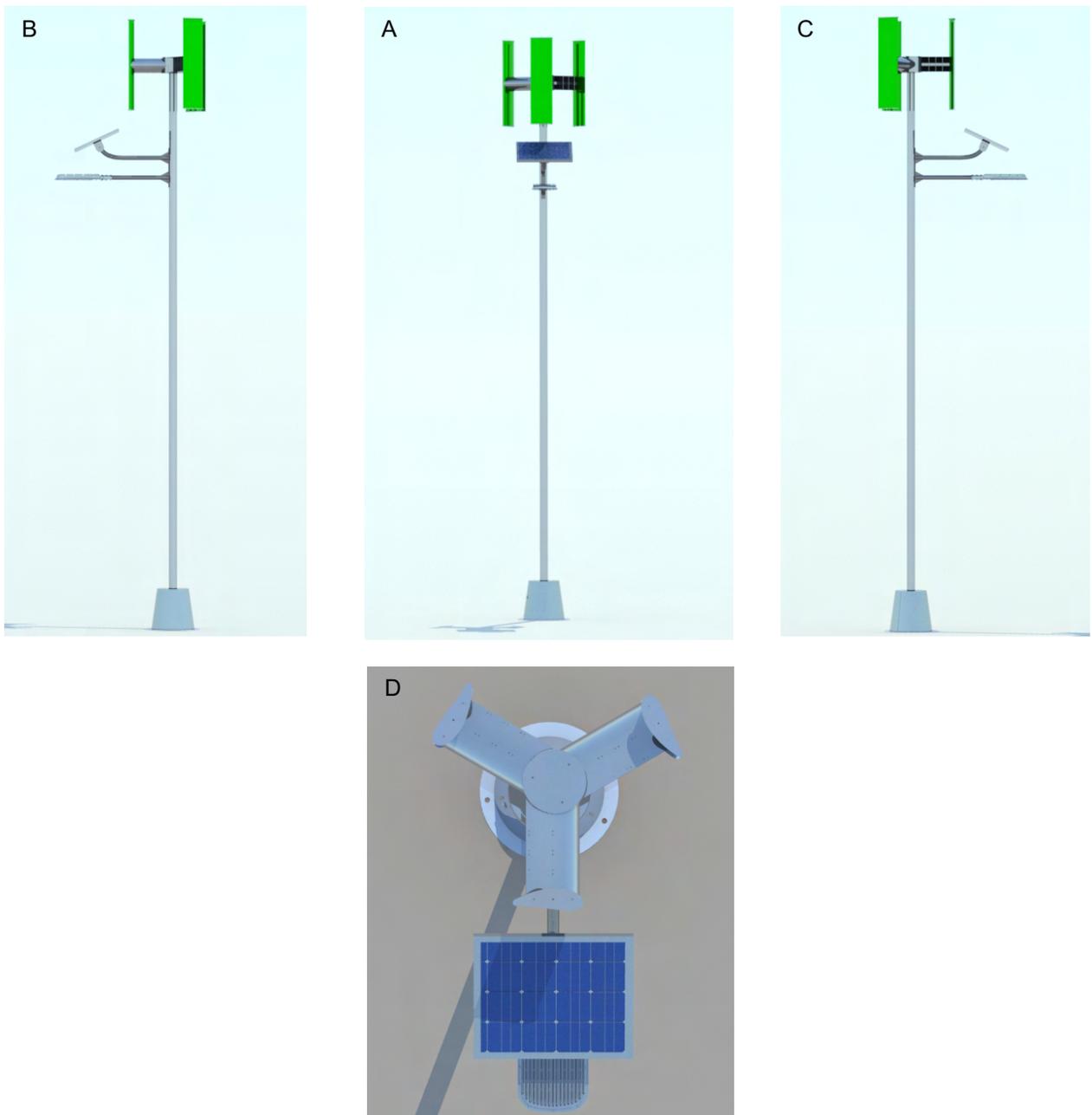


Figura 47. Vistas: frontal (A), lateral derecha(C), lateral izquierda (B) y superior (D) del diseño final de la luminaria.

Por último, se muestra una representación en foto montaje de la colocación de la luminaria en un entorno urbano (**figura 48**).

Los planos con vistas, detalles y mediciones de la luminaria se encuentran en el **Anexo B** del presente

documento. La descripción del ensamble mecánico de la luminaria se encuentra en el **Anexo C** del presente documento.



Figura 48. Fotomontaje de la luminaria sobre un escenario real.

(Fotografía: Galería de fotografías Software Solid Works. 2015)

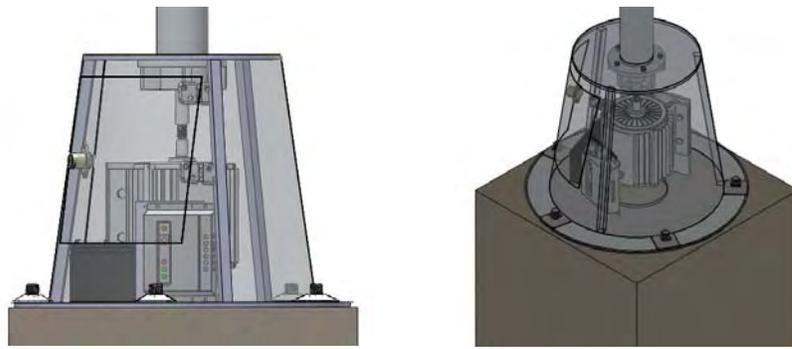


Figura 50. A la izquierda y a la derecha se puede ver la base de concreto con las tuercas anti-robo.

Como elemento extra se puede usar el poste de modo que se acople una placa de lámina al poste a una altura del campo visual del transeúnte a fin de que los vecinos del fraccionamiento puedan pegar todo tipo de anuncios, letreros y hojas (figura 51).



Figura 51. Propuesta de lámina para la colocación de anuncios.

CAPÍTULO IV

**CONSTRUCCIÓN Y EXPERIMENTACIÓN
DEL PROTOTIPO EN EL CONTEXTO**

CONSTRUCCIÓN Y EXPERIMENTACIÓN DEL PROTOTIPO EN EL CONTEXTO.

En este capítulo se tratará el tema de la construcción del prototipo, así como el costo que implica su realización, también se tratará sobre la prueba del prototipo bajo condiciones controladas y condiciones reales en el contexto seleccionado, se definirán las características técnicas, los alcances y limitaciones que tiene la luminaria, por último, se planteará un proyecto de iluminación del fraccionamiento “La Noria”.

4.1. Construcción del prototipo escala 1:1.

Se decidió construir el modelo a escala 1:1, debido a la facilidad que hay en la Universidad Autónoma Metropolitana de usar un túnel de viento de 1 m² de sección transversal, además de que al usar este túnel se tendría la ventaja de acoplar directamente el rotor eólico al generador eléctrico y así comprobar su funcionamiento en condiciones reales. Es por esta razón que el prototipo de luminaria se adaptara a la altura del túnel (1.20 m), en vez de usar la medida del diseño original de poste de 4 metros ya que esto representaría problemas complejos de manejo de la luminaria. Para realizar las pruebas en el túnel de viento no importará la altura del túnel, ya que el rotor eólico estará dentro de este y se emularán las condiciones de viento que hay a 4 metros de altura.

Las partes y componentes empleados para la construcción de la turbina siguiendo los planos y descripción del ensamble mecánico se pueden ver detalladamente en el **Anexo B** y **Anexo C**, mientras que en las **tablas 29, 30 y 31 se muestran los detalles de producción de piezas**. El costo total del prototipo resultó ser de **\$12,372 MXN**.

Nota: En adelante se hablará de pesos mexicanos (MXN).

TABLA DE MATERIALES, COSTOS Y PROCESOS DE MANUFACTURA PARA LA BASE, EL POSTE Y EL EJE.						
Nº PZA.	PARTE	PIEZAS INTERNAS	MATERIAL	CANT.	COSTO (MXN)	PROCESO MANUFACTURA DE
1	BASE	Disco superior	Placa ¼" acero 1018	1	\$275	Corte con oxiacetileno
		Disco inferior	Placa ¼" acero 1018	1	\$350	Corte con oxiacetileno
		Soportes	Angulo ½" acero 1018	3	\$70	Corte con oxiacetileno
		Unión de elementos	Soldadura eléctrica	200 grs.	\$25	Soldadura por arco eléctrico
2, 3, 4	POSTE	Tubo aluminio 4.5 m de largo X 4" diám.	Tubo redondo de aluminio 6063.	1	\$1,250	Corte con segueta
		Anillo para sujeción de rodamientos	Barra redonda aluminio 6061. Diam. 4" x largo 2"	2	\$150	Torneado
		Rodamientos ¾"	Varios	2	\$200	N/A
		Anillo para sujetar a la base	Barra aluminio 6061. Diam. 5 " x largo 0.39"	1	\$150	Torneado, barrenado.
		Cartabones	Solera aluminio 6063. 3/8"x1"	5	\$100	Corte con segueta
		Unión de elementos	Soldadura de aluminio	250 grs.	\$70	Soldadura de aluminio con gas butano
5, 6	EJE	Eje	Barra aluminio 5 m x ¾"	1	\$367	Corte con segueta y torneado de muescas para seguros.
		Discos de soporte	Barra aluminio 6"x 1.18"	2	\$150	Corte con sierra cinta, torneado y barrenado.
		Seguros truack ¾"	N/D	2	\$10	N/A
		Unión de elementos	Soldadura de aluminio	250 gr	\$70	Soldadura de aluminio con gas butano

Tabla 29. Tabla de materiales, costos y procesos de manufactura para la base, el poste y el eje.

TABLA DE MATERIALES, COSTOS Y PROCESOS DE MANUFACTURA PARA EL ASPA Y LA CUBIERTA DE LA BASE.						
Nº PZA.	PARTE	PIEZAS INTERNAS	MATERIAL	CANT.	COSTO (MXN)	PROCESO DE MANUFACTURA
7,8,9	ASPA	Tornillo ¼"	Acero 1018	12	\$25	Atornillado
		Tuerca ¼"	Acero 1018	12	\$25	Atornillado
		Brazos	Tubo rectangular aluminio 1"x 2"	3	\$150	Corte con segueta y barrenado
		Varillas	Aluminio 6063	9	\$90	Corte con segueta
		Perfiles aerodinámicos	MDF	45	\$100	Corte láser
		Cubierta de lámina	Lámina aluminio 1100	3	\$120	Corte cizalla
		Unión de elementos	Soldadura de aluminio	200 gr	\$40	Soldadura de aluminio con gas butano
			Seguros truack	120	\$50	Insertar a presión
			Remaches	120	\$75	Remachado
			Cinta doble cara	2 metros	\$80	Pegado adhesivo del perfil a la lámina
10, 11, 12, 26, 27	CUBIERTA DE LA BASE	Base cono	Lámina aluminio 1100	1	\$90	Corte láser
		Cono	Lámina aluminio 1100	1	\$200	Corte láser
		Tapa de cono	Lámina aluminio 1100	1	\$120	Corte láser
		Cerradura de seguridad	Varios	1	\$250	N/A
		Unión de elementos	Remaches	30	\$25	Remachado

Tabla 30. Tabla de materiales, costos y procesos de manufactura para el aspa y la cubierta de la base.

TABLA DE MATERIALES, COSTOS Y PROCESOS DE MANUFACTURA PARA EL HUB, LA LÁMPARA, EL PANEL FOTOVOLTAICO, EL GENERADOR ELÉCTRICO Y EL SISTEMA DE CARGA.						
Nº PZA.	PARTE	PIEZAS INTERNAS	MATERIAL	CANT.	COSTO (MXN)	PROCESO DE MANUFACTURA
13, 14, 15, 16, 17, 18	HUB	Tolva lámina sup.	Lámina aluminio 1100	1	\$30	Corte láser
		Tolva lámina inf.	Lámina aluminio 1100	1	\$35	Corte láser
		Disco MDF sup.	Lámina aluminio 1100	1	\$20	Corte láser
		Disco MDF inf.	Lámina aluminio 1100	1	\$25	Corte láser
		Disco tolva sup.	Lámina aluminio 1100	1	\$25	Corte láser
		Disco tolva inf	Lámina aluminio 1100	1	\$30	Corte láser
19, 20	LÁMPARA	Unión de elementos	Remaches	40	\$30	Remachado
		Brazo soporte	Acero 1018	1	\$100	N/A
		Lámpara LED	N/D	1	\$450	N/A
		Unión de elementos	Abrazaderas	3	\$30	Sujeción
21, 22, 23	PANEL FOTO VOLTAICO	Brazo soporte	Acero 1018	1	\$50	N/A
		Brazo conexión al panel	Acero 1018	1	\$120	N/A
		Panel	N/D	1	\$900	N/A
		Unión de elementos	Abrazaderas	3	\$30	Sujeción
28	GENERADOR ELÉCTRICO	Generador	N/D	1	\$2,000	N/A
		Unión de elementos	Tornillos	4	\$10	Atornillado
25, 24	SISTEMA DE CARGA	Controlador de carga	N/D	1	\$3,000	N/A
		Batería	N/D	3	\$500	N/A
		Unión de elementos	Tornillos	4	\$10	Atornillado

Tabla 31. Tabla de materiales, costos y procesos de manufactura para el hub, la lámpara, el panel fotovoltaico, el generador eléctrico y el sistema de carga.

Sumando el costo de todos los componentes de las tablas 29, 30 y 31 se tiene un **costo total de \$12,372 pesos.**

Construcción final de la luminaria eólico-solar.

En la **figura 52** se muestra la luminaria (con el poste escalado) totalmente ensamblada y terminada.



Figura 52. Vista frontal y lateral derecha de la luminaria ensamblada.

4.2. Especificaciones de producción.

4.2.1 Proceso de armado de la luminaria.

De acuerdo con los planos del anexo A se seguirá el siguiente procedimiento de armado:

1. Insertar tubo (2) dentro de base (10).
2. Atornillar tubo a la base a (10) usando 5 tornillos de ¼”.
3. Poner la tolva de la base (12).
4. Poner el hub (15 y 18) dentro del tubo (12).

5. Poner el rodamiento (4) dentro del anillo (3) a presión con un martillo de goma y colocar este conjunto dentro del tubo (12), realizar esta operación tanto para la parte inferior como para la parte superior.
6. Insertar el eje (5) dentro de los rodamientos (4) y aplicar aceite WD-40.
7. Poner los seguros "truack" al eje.
8. Poner generador (28) dentro de la base (10) y atornillarlo con 4 espárragos de 4" a la base.
9. Asegurar el eje al generador con el coplee flexible, asegurarlo con tornillo Allen.
10. Asegurar el eje con el seguro "truack" para evitar que se salga.
11. Insertar y atornillar aspas (9) al hub (15 y 18).
12. Colocar el hub superior (16 y 17).
13. Atornillar el hub superior con el hub inferior (15 y 18) con (16 y 17).
14. Colocar celda solar (22).
15. Orientar celda solar y colocarla a 25°.
16. Colocar el cable de transmisión de electricidad del panel al sistema de carga.
17. Conectar la batería al controlador de carga.
18. Conectar celda solar y el generador eléctrico al controlador de carga.

4.2.2 Proyecto de fabricación.

Las luminarias pueden fabricarse en cualquier sitio, sin embargo, existen algunos factores que abaratarían su producción como son:

- Cercanía con el proveedor de aluminio.
- Cercanía con el sitio de instalación.

Dados estos dos factores se plantea rentar un lugar de al menos 200 m² y adaptarlo como taller de fabricación y ensamble, este deberá estar ubicado en Salina Cruz, dado que este sitio es cercano al fraccionamiento "La Noria" y además existe la cercanía suficiente con proveedores de aluminio además de que cuenta con la suficientes tiendas, comercios y ferreterías en las que se pueden conseguir los materiales y las herramientas.

4.2.3 Producción de la luminaria.

Para cumplir con la demanda del proyecto “La Noria” se planea una producción en serie de 30 luminarias al mes en realizándolas en talleres de Salina Cruz Oaxaca. Dado que el proyecto requerirá de **188 luminarias** se plantea que la producción quede concluida en **6.2 meses**. En la planta de producción se requerirá de **10 empleados** quienes ocuparían distintos cargos desde supervisores, armadores, ayudantes y personal administrativo, recordando que se tendrá preferencia por **contratar personal de la entidad** siempre y cuando cumpla con los requerimientos y conocimientos afines al puesto requerido. Las maquinarias que se usan serán para la fabricación son:

- Taladro de banco.
- Sierra circular.
- Taladro de mano.
- Martillo.
- Desarmadores planos y de cruz.
- Juego de llaves inglesas de distintas medidas.
- Martillo de goma.

Las piezas que requieran de mecanizado en torno y fresadora serán enviadas a talleres especializados. Los siguientes elementos serán comprados a distintos proveedores.

ELEMENTOS QUE SERAN ADQUIRIDOS A UN PROVEDOR.
Panel fotovoltaico
Generador eléctrico
Controlador de carga
Batería
Rodamientos
Lámpara LED

4.3. Pruebas del prototipo de luminaria en condiciones controladas.

Se probó el desempeño del prototipo de luminaria en condiciones ideales en donde se puede determinar el desempeño de las fuentes energéticas (turbina eólica y panel fotovoltaico) bajo distintas condiciones

controladas. Para la fuente de energía eólica se usará el túnel de viento del laboratorio de arquitectura bioclimática de la UAM-A, variando la velocidad de viento y obteniendo la potencia eléctrica entregada por el generador a distintas velocidades.

Para la fuente de energía solar se colocará la celda fotovoltaica en laboratorio de sistemas fotovoltaicos de la UAM-A, en donde se tomarán lecturas de la potencia entregada por la fuente fotovoltaica a distintas horas del día midiendo la radiación solar.

Se establecerán a continuación las condiciones del experimento, se registrarán los datos y se obtendrán los resultados graficándolos y comparándolos entre sí, de modo que se observe el comportamiento de las fuentes energéticas para así poder determinar el desempeño de estas fuentes bajo distintas condiciones controladas y predecir el comportamiento de la luminaria en las pruebas de campo.

Características del túnel de viento.

Se cuenta con un túnel de viento en la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco, ubicado en el laboratorio de arquitectura bioclimática, es un túnel de succión, este consta de un ducto que tiene una sección cuadrada con dimensiones de 1m de lado y 1 m de altura, tiene una longitud total de 5 m. Las paredes del túnel son de madera MDF, están pintadas por dentro con pintura negro mate y cuenta con una sección de prueba reducida por un sistema Venturi, este sistema se eleva la presión en esa sección determinada quedando un espacio disponible de 0.84 m², de este espacio total se usará el 95% resultando un área de 0.8 m², de este modo se evitarán los efectos indeseados de la presión que se ejerce en las paredes del túnel. Para la variación de velocidades de viento, el túnel cuenta con 4 motores de regulación eléctrica con los que se logra la succión del aire, su velocidad de giro es controlada por un variador de frecuencia desde 0-60 Hertz. El rango de velocidades de viento dentro del túnel va de 0 a 15 m/s.

El túnel consta de una entrada y una salida, la entrada consiste en una tobera (ver **figura 53**) que capta la mayor cantidad de viento y la comprime a la sección transversal del túnel para así aumentar su velocidad, en la entrada tiene un conjunto de tubos que convierten el flujo turbulento a flujo laminar, esto es conveniente en el experimento ya que es un flujo más ordenado y estable. La salida consta de un ducto el cual va a dar al techo del túnel y posteriormente a la atmósfera.



Figura 53. Túnel de viento del laboratorio de arquitectura bioclimática (izquierda) y la tobera de entrada del túnel (derecha).

4.3.1 Instalación de la luminaria dentro del túnel.

Se colocó la base de la luminaria atornillada al piso en tres puntos (ver **figura 54**), para así evitar el movimiento ante fuertes corrientes de viento y vibraciones. Debido a que el túnel tiene en su parte inferior una perforación de barreno de diámetro ligeramente superior al diámetro del eje se hizo pasar el eje a través de este barreno, pero al ser el poste de mayor diámetro se tuvo que recortar el poste para evitar daños al túnel barrenado un diámetro mayor y se introdujo el rotor dentro del túnel (**figura 55**).



Figura 54. A la izquierda se puede ver el barrenado que se hizo al piso para realizar la fijación, a la derecha se observa la base montada con la reducción de tamaño del poste original.



Figura 55. Rotor de la turbina eólica montada dentro del túnel de viento.

4.3.2 Prueba piloto del rotor eólico en condiciones ideales.

Se realizó la prueba piloto probando el rotor dentro del túnel de viento a velocidades de 0 a 10 m/s en intervalos de 1 m/s, haciéndolo girar durante lapsos de 3 minutos para cada velocidad sin el generador acoplado. El objetivo fue comprobar la resistencia de la estructura en el intervalo de velocidad de prueba. Se observó que en el momento de llegar a la velocidad de 8.90 m/s se escuchó un fuerte estruendo y el rotor paro súbitamente, esto ocurrió debido a que una de las aspas tocó ligeramente la pared del túnel y quedó trabada, por lo tanto, el aspa sufrió graves daños (ver **figura 56**) al punto de quedar inservible, esto ocurrió debido a dos factores:

1. Por las vibraciones generadas en el extremo superior del eje al llegar a altas velocidades, debido a que al reducir la longitud del poste el eje presenta estas vibraciones no fueron consideradas en el diseño original ya que no se contaba con el requerimiento de no aumentar el diámetro del barrenado del túnel.
2. Debido a la fuerza centrífuga generada a altas velocidades de giro en los extremos de las aspas.



Figura 56. Aspa que sufrió el accidente al tocar una pared de túnel.

4.3.3 Solución al problema de flexión del aspa.

Se solucionó este problema reforzando la estructura del aspa ante fuerzas centrífugas colocando cables a tensión conectados con armellas en los extremos de las aspas, estos van sujetos al brazo del aspa. Para resolver el problema de oscilación del extremo superior del eje se decidió colocar cables, estos servirán de tirantes y van unidos a la tapa del techo del túnel mediante armellas (ver **figura 57**). Adicionalmente para detectar cualquier tipo de contacto con el túnel se colocaron bloques de unicel en los posibles puntos de contacto del aspa con el túnel.

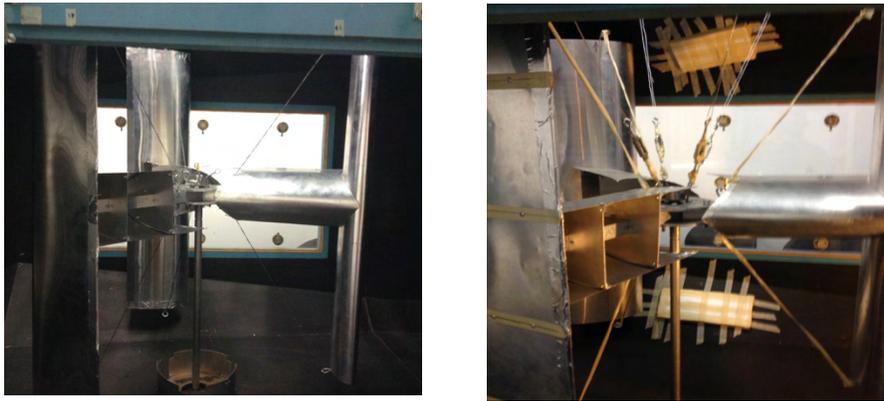


Figura 57. Colocación de cables en los extremos del aspa y en el extremo superior del eje para dar mayor rigidez estructural.

4.3.4 Pruebas del prototipo en condiciones controladas.

Se describirán a continuación las pruebas que se realizaron a los elementos de generación de energía.

4.3.5 Prueba 1: Fuente energética eólica y solar- Acumulación de energía de la fuente solar y eólica.

Objetivo del experimento:

- Determinar el tiempo de carga usando las fuentes energéticas eólica y solar
- Medir el voltaje entregado por ambas fuentes energéticas.
- Medir la corriente entregada por ambas fuentes energéticas.
- Medir la potencia entregada por ambas fuentes energéticas.
- Medir la cantidad de energía acumulada por ambas fuentes durante la prueba.

Se realizarán las mediciones de las variables

- Velocidad de viento.
- RPM del eje.

Se obtendrán:

Las mediciones de la cantidad de energía acumulada en 60 minutos, máxima potencia del sistema híbrido a 10 m/s y con radiación solar óptima, potencia promedio del sistema híbrido a distintas velocidades de viento promedio y con radiación solar promedio.

Gráficas a obtener:

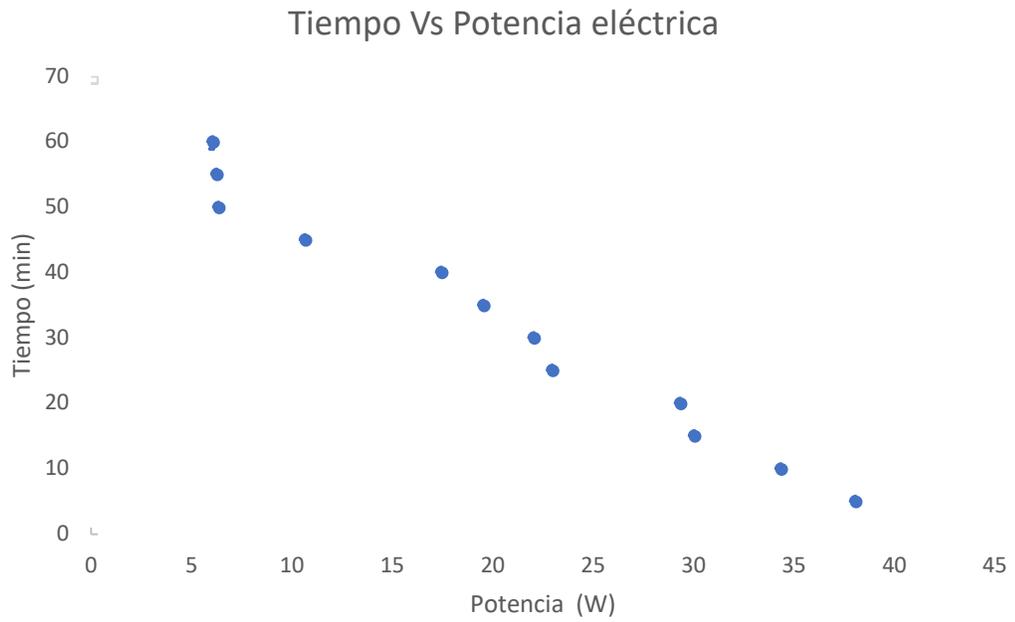
Gráfica 2. Tiempo contra Potencia eléctrica.

Gráfica 3. Tiempo contra Energía acumulada (Wh).

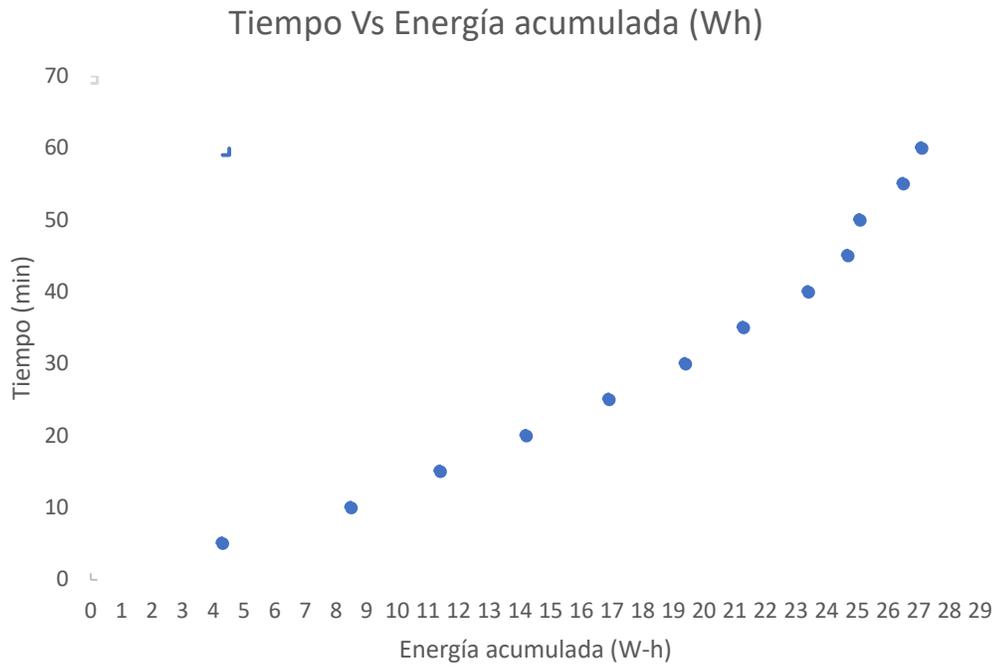
Gráfica 4. Tiempo contra Energía acumulada (Ah).

Resultados

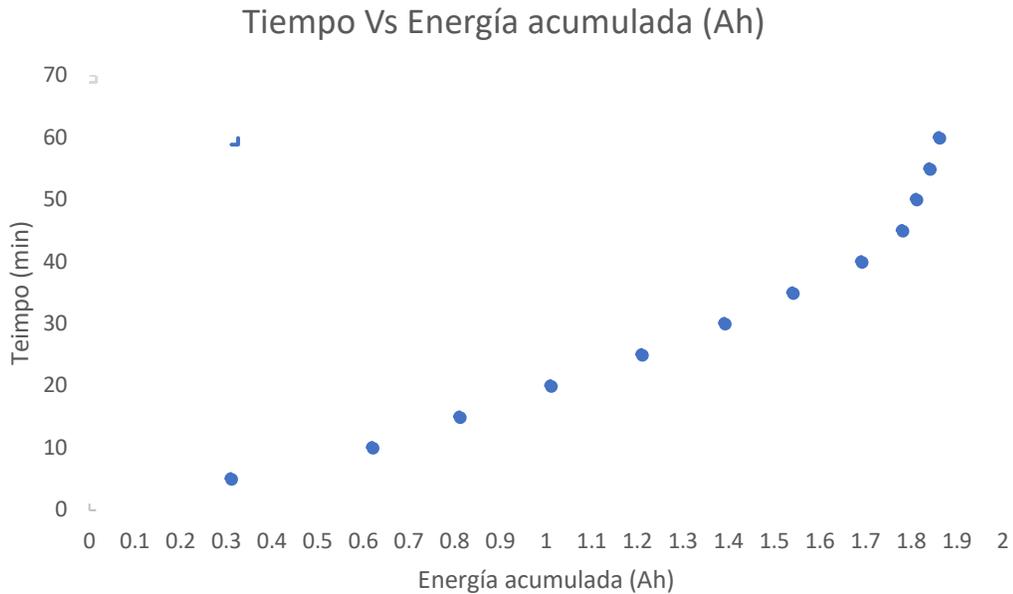
Acumulación de energía eólica y solar durante 60 minutos	27.1 W o 1.8 Ah
Máxima potencia del sistema híbrido a 10 m/s y con radiación solar óptima.	38.1 W
Potencia promedio del sistema híbrido a distintas velocidades de viento promedio y con radiación solar promedio.	22.1 W



Gráfica 2. Tiempo contra Potencia eléctrica para la prueba 4.



Gráfica 3. Tiempo contra energía acumulada (W) para la prueba 4.



Gráfica 4. Tiempo contra Energía acumulada (Wh) para la prueba 4.

Análisis de resultados.

En la prueba 5, se midió la acumulación de energía de ambas fuentes energéticas, se pudo observar que la potencia eléctrica decayó conforme se realizaba la prueba, esto debido a que la prueba se comenzó a las 14 hrs y se concluyó a las 16:22 hrs, es decir, una vez pasadas las 16:22 hrs la aportación de la fuente fotovoltaica disminuyó drásticamente debido a la disminución de radiación solar, conforme avanzaba la prueba y por lo tanto la fuente eólica fue la que aportó la energía posterior a las 16:22 hrs. Se lograron acumular 27.1 Wh (1.8 Ah), esto quiere decir que si la fuente eólica se mantiene generando energía constantemente y la radiación solar es óptima **se puede cargar la batería de 18 Ah en 10 horas**, esto dependerá por supuesto de las condiciones climáticas de sol y viento.

4.3.6 Prueba 2. Torque y potencia mecánica.

Se colocará el rotor eólico dentro del túnel de viento y se hará funcionar en un rango de velocidad 1-10 m/s, se conectará la parte inferior del eje al freno prony. Este freno consiste en unas mordazas a presión acopladas al eje, entre las mordazas y el eje se colocará un trozo de cuero lubricado en aceite de modo que disminuya la fricción, a este conjunto de pinzas y trozo de cuero se le llama freno prony. A cada

aumento de velocidad de viento se ejercerá mayor presión sobre el eje hasta que la presión de las mordazas impida el deslizamiento del eje. Al ejercer el par de giro del brazo del freno sobre el dinamómetro se registrará la medición de fuerza. Se acoplará la parte inferior del eje al freno prony (ver **figura 59**).

Se obtendrán los datos de:

Potencia mecánica en el eje a la velocidad de viento media.

Eficiencia de conversión del sistema mecánico eléctrico.

Se obtendrán las gráficas:

Gráfica 5. Velocidad de viento contra Torque.

Gráfica 6. Velocidad de viento contra Potencia mecánica.

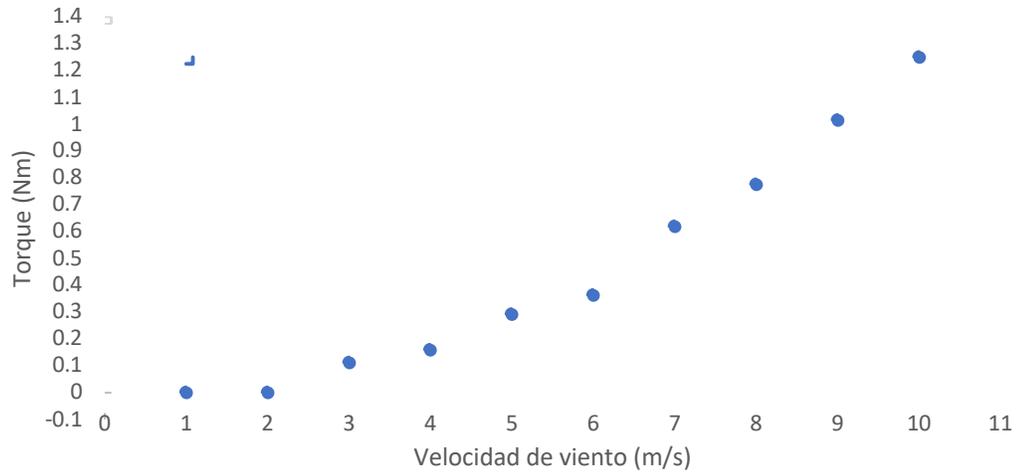
Gráfica 7. C_p contra λ

Resultados

Velocidad de viento media	Potencia mecánica en el eje
8 m/s	8.36 W

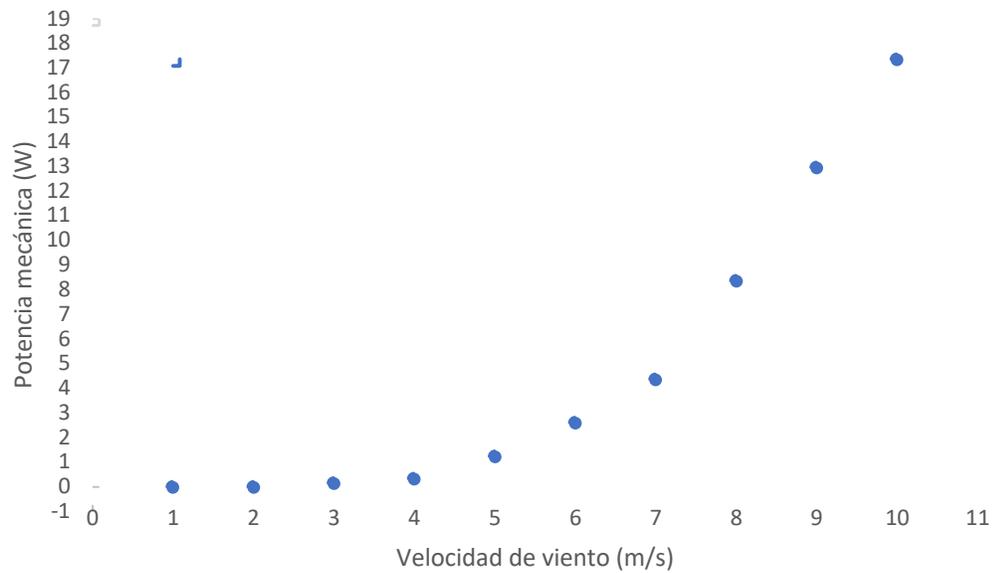
Eficiencia de conversión del sistema mecánico eléctrico.
81%

Velocidad de viento Vs Torque.



Gráfica 5. Velocidad de viento contra Torque para la prueba 6.

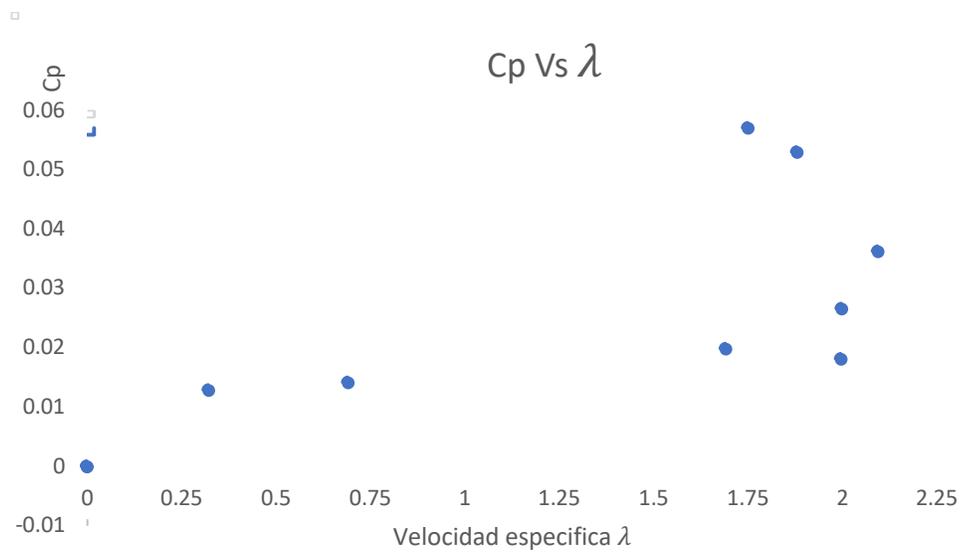
Velocidad de viento Vs Potencia mecánica



Gráfica 6. Velocidad de viento contra Potencia mecánica.



Figura 59. Montaje del freno prony en el eje del rotor eólico.



Gráfica 7. Coeficiente de potencia (C_p) contra Velocidad específica (λ).

Análisis de resultados.

En la prueba 6 se puede observar que a una velocidad de viento promedio de 8 m/s se genera un torque de 0.77 Nm, y una potencia en el eje de 8.36 W, mientras que a 10 m/s se obtiene un torque de 1.25 m/s y una potencia mecánica en el eje de 17.3 W, con este dato se puede determinar la eficiencia del generador, si a una velocidad de viento de 10.24 m/s el generador entrega 14.1 W eléctricos se puede decir que hay pérdidas en el sistema por 3.2 W y una eficiencia de conversión de energía mecánica a eléctrica de 81%. En la última gráfica podemos observar el comportamiento de la eficiencia del rotor eólico, se puede ver que el coeficiente de potencia máximo es de 0.057, con este numero si hacemos referencia a los C_p promedio que alcanzan estas turbinas tipo Darrieus es de 0.35, por lo tanto es muy bajo y por lo tanto se podría hacer alguna modificación aumentando la cuerda de las aspas del rotor a fin de aumentar este valor y que sea capaz de captar más viento y por lo tanto genere más energía con el mismo tamaño. También se puede observar el valor de la velocidad específica, esta indica la capacidad del rotor para captar la energía del viento, se obtiene un valor de velocidad específica de 1.75 en la máxima eficiencia C_p , como referencia este valor es de 6 en las turbinas Darrieus por lo que se mejoraría haciendo un diseño que capte más viento con aspas más grandes. Con las pruebas realizadas se puede obtener la tabla de especificaciones (**tabla 33**) del prototipo de luminaria híbrida.

Velocidad de arranque sin generador acoplado	5 m/s @16.3 rpm
Velocidad de arranque con el generador acoplado	4.43 m/s @ 9.2 rpm y 0 W
Velocidad de inicio de generación eléctrica con el generador acoplado	6.19 m/s @117 rpm y 1.5 W
Velocidad de supervivencia del rotor eólico sin generador	8.5 m/s @207 rpm
Velocidad máxima de generación eléctrica	10.24 m/s @ 135 rpm y 14.1 W
Velocidad de freno automático	15 m/s, @ N/D rpm
% de carga de la batería de fuente eólica a 8 m/s constantes (60 min)	60%
% de carga de la batería de fuente solar (incremento máximo registrado a lo largo del día, lapso de 60min)	33%
Generación de energía eólica 8 m/s constante (60 min)	8 Wh (0.008 kWh) o 0.6 Ah
Generación de energía solar en horas de máxima radiación solar	25.5 Wh (0.0255 kWh) ó 2.06 Ah
Acumulación de energía eólica y solar durante 60 minutos a 8 m/s de viento constante.	27.1 Wh (0.0271 kWh) ó 1.8 Ah
Potencia mecánica en el eje	8.36 W @ 8m/s
Máxima potencia del sistema híbrido a 10 m/s y con radiación solar óptima.	38.1 W
Máxima potencia eólica	15 W @ 10 m/s
Máxima potencia fotovoltaica	25 W
Cp eólico máximo	0.041
Potencia promedio del sistema híbrido a distintas velocidades de viento promedio y con radiación solar promedio.	22.1 W
Eficiencia de conversión del sistema mecánico-eléctrico.	81%
Autonomía batería (Experimental)	35 horas (1.45 días= 3 noches)
Autonomía batería (Según fabricante)	24 horas (1 día= 2noches)

Tabla 32. Especificaciones técnicas de la luminaria híbrida (eólico-solar).

4.3.7 Pruebas del prototipo en condiciones reales.

Objetivo del experimento.

Determinar de manera experimental el funcionamiento de la luminaria en el sitio de prueba bajo condiciones reales.

Breve descripción del experimento:

Durante los meses de diciembre y enero del año 2018, se instaló el prototipo de la luminaria en el sitio de prueba bajo condiciones reales, originalmente se tenía planeado probar la luminaria en el fraccionamiento “La Noria” pero debido a que no se contaban con las facilidades para realizar esta prueba y a que tampoco se contaba con un permiso por parte del municipio para instalar la luminaria, se decidió usar un sitio de prueba alternativo, en el que se buscó se contara con las facilidades para realizar la prueba, se encontró a unos 4 kilómetros de distancia que la Universidad del Istmo contaba con un lugar idóneo en la azotea del laboratorio de ciencias de la energía eólica, en donde gracias al Mtro. en diseño Rafael Dorrego Pórtela se pudo instalar la luminaria, el profesor brindó la infraestructura necesaria para llevar a cabo la prueba en sitio. Cabe resaltar que el periodo de velocidad de viento alto en la región es de noviembre a febrero, por lo que este periodo es idóneo para realizar las pruebas además de que la radiación solar es constante y muy raramente se presentan lluvias. El sitio cuenta con el recurso eólico y solar adecuado como para llevar a cabo la prueba además de que la azotea está a 5 metros de altura, esta es una altura perfecta para simular la altura de diseño de la luminaria ya que el prototipo de luminaria tiene un poste de una altura reducida.

Se establecerán a continuación las condiciones del experimento, se registrarán los datos y se obtendrán los resultados graficándolos afín de conocer empíricamente el comportamiento de la luminaria en condiciones reales.

4.3.8 Azotea del laboratorio de Ciencias de la Energía Eólica de la UNITSMO.

Localizada entre los municipios de Tehuantepec y Salina Cruz y a 4 km del fraccionamiento “La Noria” cuenta con los recursos necesarios para realizar la prueba como es un anemómetro a 10 metros de altura que está midiendo la velocidad y dirección del viento las 24 horas del día, y también cuenta con una estación meteorológica, esta es capaz de medir radiación solar, rayos UV, temperatura, milímetros de lluvia, presión atmosférica y humedad relativa.

La azotea esta una altura de 5 metros dese el piso, esto es ideal ya que la luminaria se diseñó para tener una altura de 4 a 6 metros. Como desventaja existen algunos obstáculos alrededor del sitio los cuales

pueden disminuir la velocidad del viento estos obstáculos consisten en árboles y algunos edificios de altura similar al edificio usado para la prueba (ver **figura 60**).



Figura 60. A la izquierda se puede observar la azotea del laboratorio de ciencias de la energía eólica de la UNISTMO, a la derecha el anemómetro con el que se medirá la velocidad de viento.

Adquisición de datos.

Para medir los datos se fabricó un panel de instrumentos (ver **figura 61**), este panel albergara el controlador de carga, el wattmetro y un interruptor para encender y apagar manualmente la luminaria, adicionalmente se cuenta con la pantalla del Data-logger, este proporciona la lectura de velocidad y dirección de viento que entrega el anemómetro. Se conectó la salida del controlador de carga a la batería y esta a la lámpara de modo que se encendiera manualmente al accionar el interruptor.

Cabe mencionar que la lámpara y el sistema de carga se colocaron dentro del laboratorio en donde se estaba monitoreando su comportamiento y se tomaban las mediciones.



Figura 61. A la izquierda- Tablero de instrumentos y controlador de carga conectados a la luminaria eólico-solar. A la derecha- computadora donde se pueden ver las lecturas entregadas por la estación meteorológica.

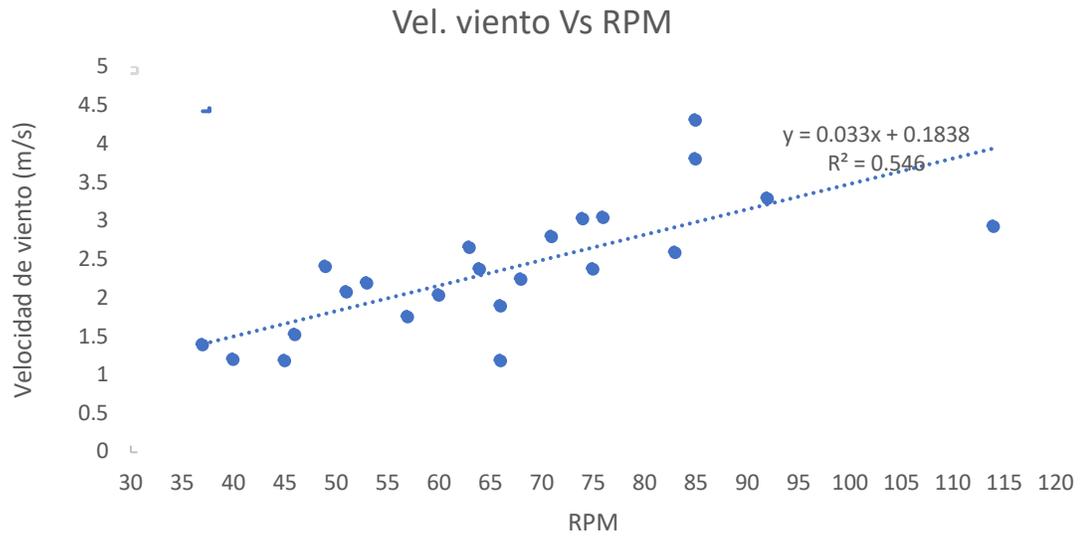
4.3.9 Prueba piloto de la luminaria en condiciones reales.

Se instaló la luminaria junto con los cables de seguridad y se observó el comportamiento de esta durante el lapso de 5 días, durante estos días hubo vientos intensos de hasta 15 m/s según datos almacenados en la computadora de la estación meteorológica, la luminaria no sufrió daño alguno y se mantuvo intacta (ver **figura 62**), ningún cable o tuerca se aflojo ni mostro signos de fatiga por lo que se puede decir que el prototipo esta listo para comenzar la pruebas para la generación de electricidad.



Figura 62. Luminaria después de la prueba piloto de resistencia por una semana.

Se midieron las RPM y la velocidad de viento sin el generador acoplado, esta prueba arrojó la siguiente gráfica donde se observa claramente el comportamiento estocástico del viento



Gráfica 8. Comportamiento de la Vel. Viento contra RPM del rotor sin generador acoplado.

Como se puede observar la variación de velocidad de viento en la **gráfica 8** se debe a que al momento de tomar las lecturas de la velocidad del viento no estaba perfectamente sincronizado con la lectura de las RPM las cuales aumentan o disminuyen muy rápidamente y el tacómetro óptico tarda unos segundos en captar la nueva medición, teniendo que tomar una nueva lectura de RPM y pro lo tanto la velocidad de viento ya cambio. Esta gráfica es característica del comportamiento estocástico e impredecible del viento. Sin embargo, se puede observar en la línea de tendencia que puede desempeñarse bien a bajas velocidades de viento sin el generador acoplado.

Problema

También se observó que el rotor de la turbina eólica giraba muy poco después de una racha de viento, dando tan solo algunas vueltas para después detenerse.

Solución

Se decidió modificar el rotor para incrementar el torque del rotor y vencer el par de inercia que supondría acoplar el generador. Se realizaron 3 modificaciones aumentando el diámetro del rotor mediante un acoplamiento de perfiles de aluminio, las tres pruebas se describen en la **tabla 34**.

# prueba	Configuración	Diámetro del rotor	(longitud de brazo extra)
Prueba 1	Corta	0.8 m (diámetro del rotor original).	0 m
Prueba 2	Mediana	1.15 m	0.35 m
Prueba 3	Larga	1.55 m	0.75 m

Tabla 33. Alternativas de aumento de diámetro del rotor.

La modificación donde se observaron mejores resultados fue la de diámetro del rotor de 1.15 metros, por lo tanto, se realizó la prueba en condiciones reales con este diámetro.

4.3.10 Prueba 3. Fuente energética eólica y solar (diámetro del rotor 1.15 m).

Objetivo del experimento.

- Determinar la cantidad de energía eléctrica acumulada durante la prueba.

Se realizarán las mediciones de las variables.

- Velocidad de viento.
- Hora del día.
- Radiación solar.
- Energía generada por el generador y del panel fotovoltaico.

Metodología de experimentación.

Se colocará el rotor de la turbina eólica en la azotea del laboratorio de ciencias de la energía eólica, se medirán las variables al final del periodo de prueba, se tomarán las mediciones durante el lapso de 7 días consecutivos, se aumentará el diámetro del rotor a 1.15 metros (**figura 63**) a fin de aumentar el torque de arranque y por lo tanto se aprovechen las brisas de viento que abundan en el sitio. Los resultados se pueden ver en la **tabla 35**.

Resultados

Configuración	Fecha	Días	Wh generados	Ah Generados	Voltaje Batería(V)	Vel. viento promedio (m/s)	Radiación promedio (W/m ²)
MEDIA (Diámetro rotor 1.15 metros)	12-22 Dic	7	928.69	71	13.16	6.3	912

Tabla 34. Resultados obtenidos en la prueba 3 (fuente energética eólica y solar con diámetro del rotor 1.15 m).

Análisis de resultados

En esta prueba se usó la configuración aumentada del diámetro del rotor de la turbina eólica, se observa en los resultados obtenidos que se generaron 928.69 Wh (71 Ah). El rotor giro más fácilmente que en la prueba anterior y se obtuvo una buena potencia, sin embargo, aún presentaba resistencia a girar ya que el viento se mantenía constante solo por algunos segundos. Respecto a la celda fotovoltaica se comportó como se esperaba, se generó suficiente energía durante la prueba y no sufrió ningún daño.



Figura 63. Luminaria eólico-solar colocada en el techo del laboratorio de ciencias de la energía eólica con el diámetro del rotor original (1.15m).

Resumen.

Se muestra un resumen de resultados (**tabla 36**) de las mediciones realizadas con las respectivas modificaciones realizadas, las demás pruebas (corta y larga) siguieron el mismo procedimiento que la prueba 3.

Resultados:

Configuración	Fecha	Días	Wh generados	Ah Generados	V Batería	Vel. viento promedio (m/s)	Radiación solar promedio (W/m ²)
CORTA	15-22 Dic	7	791.04	59.52	13.12	4.9	865
MEDIA	12-22 Ene	7	928.69	71	13.16	6.3	912
LARGA	23-30 Ene	7	758.4	57.6	13.06	5.8	835

Tabla 35. Acumulación de energía para las tres configuraciones del rotor.

Por lo tanto, se observa en la **tabla 37** que la cantidad de energía fue mayor en la configuración MEDIA (resaltada en color amarillo), en la que se obtienen 928 Wh de energía producida por la turbina eólica y el panel solar, aunque el resultado es cercano a la configuración corta, por lo tanto, se propone usar esta modificación al diseño para incrementar el desempeño del rotor eólico y por lo tanto se obtenga una mayor cantidad de energía de la luminaria. En todas las pruebas se cargó la batería de 18 Ah al 140% aproximadamente, esto aun cuando se encendía la lámpara por las noches durante un periodo de 11 horas dentro del laboratorio (ver **figura 64**).



Figura 64. Lámpara de la luminaria eólico-solar en prueba de 11 horas de funcionamiento continuo dentro del laboratorio.

Por último, se resume la cantidad de energía producida que entregaría en promedio en distintos periodos de tiempo, esto puede variar dependiendo las condiciones climáticas.

ENERGÍA PRODUCIDA	
Energía producida por la luminaria híbrida al día (Wh-día)	132.67
Energía producida por la luminaria híbrida al día (kWh-día)	0.13
Energía producida por la luminaria híbrida a la semana (Wh-semana)	928.69
Energía producida por la luminaria híbrida a la semana (kWh-semana)	0.92
Energía producida por la luminaria híbrida al año (kWh-año)	48.42

Tabla 36. Energía producida en promedio a lo largo de distintos periodos de tiempo con el aumento del diámetro del rotor a 1.15 m.

4.3.11 Prueba en sitio alternativo al fraccionamiento La Noria.

Una vez probada la luminaria en la Universidad del Istmo se realizó una prueba en un sitio alternativo al fraccionamiento “La Noria” ya que no se encontró alguna casa que sirviera de prueba se decidió probar en una casa del municipio de Tehuantepec en el barrio Guichivere (ver **figura 65**), este es un barrio que se encuentra en los costados del cerro llamado “Del tigre” en Tehuantepec. De este modo vigile el comportamiento de la luminaria, esta casa contaba con electricidad, pero al ser de reciente construcción no contaba con iluminación hacia el patio, por lo que se decidió colocar la luminaria en el techo de esta casa que se encuentra a 4 metros de altura y es idóneo para realizar la prueba.

Objetivos.

- a) Comprobar que la lámpara se mantiene encendida 11 horas por la noche durante 7 días.
- b) Comprobar que durante el periodo que esté apagada la lámpara se cargue adecuadamente la batería.
- c) Verificar que el prototipo de luminaria no sufra desperfectos debido a las condiciones climáticas.

Procedimiento.

Se colocó la luminaria en el techo de esta casa, se fijó realizando barrenos, colocando taquetes y atornillando la base al techo, en este caso no fue necesario colocar los cables de seguridad como se hizo en el caso de la prueba en la UNISTMO, ya que se comprobó que no eran necesarios (**figura 65, 66 y figura 67**).



Figura 65. Casa de prueba del municipio de Tehuantepec.



Figura 66. Luminaria instalada en una casa de Tehuantepec, Oax. (a la izquierda vista posterior, a la derecha vista inferior).



Figura 67. Luminaria instalada en una casa de Tehuantepec, Oax. (vista en perspectiva).

Resultado de la prueba.

La luminaria se comportó adecuadamente durante el periodo de prueba, no se presentaron desperfectos ni tornillos aflojados a pesar de los fuertes vientos que se presentaron, la celda solar tampoco sufrió daños

y se mantuvo funcionando sin problemas, el área del patio es de 30 m² y se mantuvo bien iluminada, la luminaria se encendía a las 20 hrs. y se apagaba a las 7 hrs. de día siguiente (**figura 68 y 69**), es decir durante 11 horas. Respecto al aspecto que daba se preguntó a vecinos del lugar y se mostraron asombrados positivamente por el prototipo mencionando que también les gustaría tener uno en su casa para ahorrar los costos de energía eléctrica.



Figura 68. Luminaria instalada en una casa de Tehuantepec.

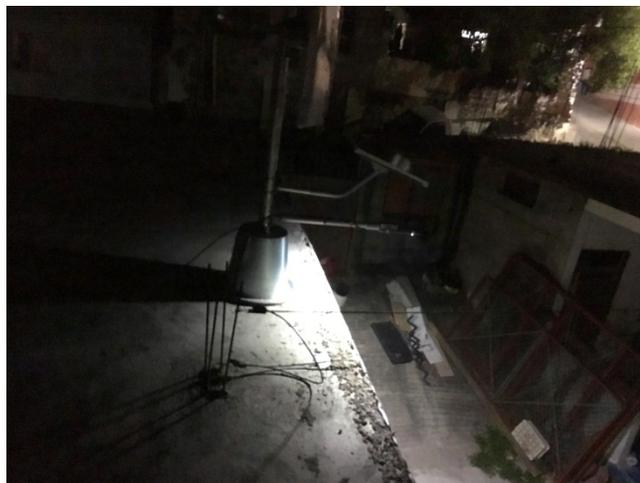


Figura 69. Luminaria funcionando durante la noche en casa del Barrio Guichivere, en Tehuantepec, Oax.

CAPÍTULO V

**PROYECTO DE ILUMINACIÓN DEL
FRACCIONAMIENTO LA NORIA**

5.1. Proyecto de iluminación del fraccionamiento la Noria.

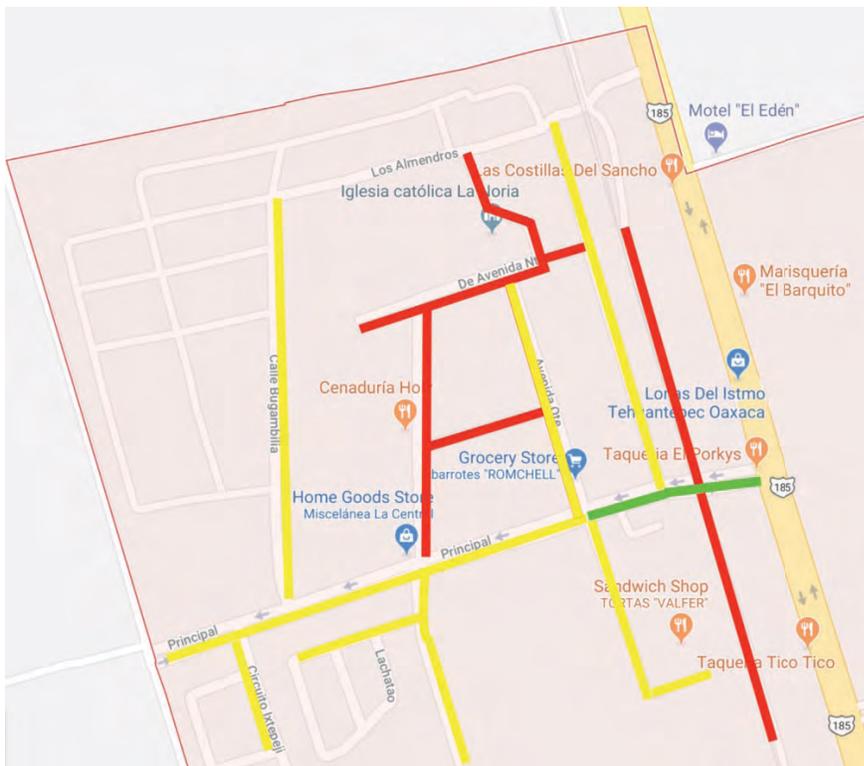
Se hará una propuesta para proyecto de iluminación basado en la luminaria prototipo, esto en realidad es un problema grande y complejo que exige la conformación de un equipo de trabajo dado que se debe estudiar el sitio donde se instalarán las luminarias tomando en consideración los lugares donde se considere necesario.

Se plantea un proyecto de iluminación en el contexto específico de estudio seleccionado, se decidió fuera el fraccionamiento “La Noria” en Tehuantepec Oaxaca. Donde se podría dar un beneficio a la población de ese fraccionamiento, ubicando las luminarias en puntos estratégicos y donde no exista iluminación suficiente.

Para ello se realizó el estudio cualitativo del capítulo 2, en donde se descubrían las necesidades de la población respecto a iluminación, se realizaron encuestas preguntando a las personas las zonas donde a su consideración fuera necesario incrementar la iluminación ya que habiéndola es deficiente o nula. Y arrojó el siguiente mapa (**figura 70**) se marcan en color rojo en el mapa las zonas donde es más urgente la instalación de luminarias (**figura 71**), ya que según los encuestados se han registrado incidentes delictivos (se pueden ver las entrevistas realizadas en el **Anexo A**). En segundo lugar, están las zonas y calles marcadas en amarillo (**figura 72**) debido a que son zonas en donde existen luminarias, pero hay pocas o están descompuestas y en tercer lugar las calles marcadas en verde (**figura 73**) son zonas en donde se cuenta con suficiente iluminación y no sería necesaria la instalación de luminarias.

□

□



R00Cé □□□□ éAé NváRLé, , 8 géf 8gh G. U\$H0N8égN vgv. á UU q □éf élú□ F □vUN v.á UNvg N□,éUg, & Nv 80f 8gé, 8 g F □
 ., CUvg, & Nv N.á óLóAv, H8 éf vgh □

□ p . . 0á f í éAó □□□□□□



R00Cé □□□□ c. géo□. g Nv 8 gh 80f 8gé, 8 g O x 8 éN. ó. x U □ éó □ Bó NváUvg é á 8 z O v N é F é á N v □, 1 é é á
 2 g N. Nvá2é, , 8 géf 8gh □vg N. g N óv0Vg á óvg, OvóéN ó1ég□, CU N □g, 8 vghvó N v 8 H. ó □

□

□

□

□



Figura 72. Zonas con iluminación suficiente pero que sería recomendable reforzar con más iluminación.



Figura 73. Zona con suficiente iluminación ubicada a la entrada del fraccionamiento en donde casi no se han registrado incidentes delictivos según información de los encuestados.

En base a esta información recabada se puede determinar el área total de iluminación requerida. El proyecto se enfocará solamente a las áreas donde es más urgente la instalación de luminarias, es decir en las zonas marcadas en color rojo en el mapa.

FesJé pi elz u í gí t í Jéamí g

e. g08CN ágveán, éávó. g ágv, vóNéNfi - óCúvghvNv áf é, g g z

ZUréh réáN, éávóN gNvóCúvghv áf vghéUáf éúéó. góNlégn CgAUf vN Nv f Nv ég, 1. Nv, éáv f

ZUréNv áf é, g gNv, éNé áf éúéó. á, éNé é f vHóNv éáCé z

GW vU Nv áf éúéóvg h réá

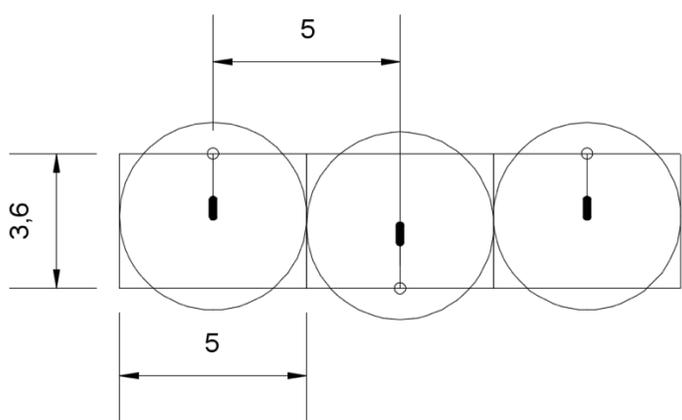
I éhég, évgHv áf éúéó z

GW vU Nv áf éúéóA. U, éávvgAUf vN í éúéNvAvgnvN á, éáv

I éhég, g gNv áf éúéó í Úó. á

DvNvZgv. f. é ávÚó. á vóCgóóhv éNvAéghé, g gvgzOv, éNéHvóAéghéó2 U égCgHú g0Cá vzCá hvU v f. N zOv, éNéAéghéNvCg ézOvN 2vghéCg1Ov, . vghvN óAéghéóNv á z óCvghHd" 2 UN éH géúó

Cg ánoJg ón f OvóCg vqf Aá Nv áNéHúQ, g gNv áf éúéóvgvá ÚrézOv éxéU éú éóB, . f. áóNéhég, évgHv áf éúéó



RóCé M ég. v g éh é óAvú UNv áNéHúQ, g gNv áf éúéóvg Úvó. á HvCg é, éávvgvá, BJCá óv éóHé vá ÚrézOv vó, éAéúNv áf éúé, éNé á f AéúCgNéNvóvgf vHó

5.2. Análisis de costos de y vida útil del proyecto.

Se hará un breve análisis de costos para determinar la conveniencia y rentabilidad del proyecto

El costo de la luminaria con poste de 5 metros de altura sería de: **\$12,372**

Adicionalmente se instalaría una base de concreto (**figura 75**) para el anclaje y se incluiría en la mano de obra los gastos de instalación, a continuación, se tiene el estimado.

Base de concreto de 0.5 x 0.5 x 0.5 m con 5 anclajes de concreto de 6": **\$650**

Costos de mano de obra e instalación: **\$1,500**

Por lo tanto, se obtiene el costo total de una luminaria instalada.

Costo total de una luminaria instalada: \$ 14,522

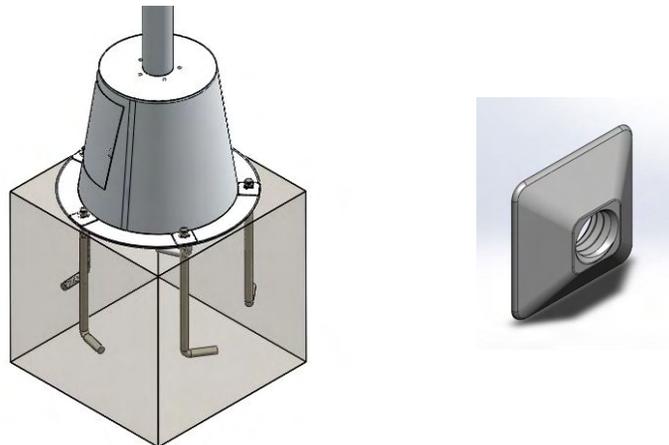


Figura 75. Luminaria instalada en la base de concreto (a la izquierda) y tuerca anti-robo (a la derecha).

Cabe señalar que se usarán tuercas de seguridad “antirrobo” (**figura 75**) con la finalidad de que la luminaria no sea removida de su sitio sin permiso, estas tuercas solamente pueden ser removidas colocando otra tuerca encima y con una llave inglesa.

5.3. Instalación de la luminaria.

A continuación, se indica el procedimiento para la instalación de la luminaria, esta se instalará una vez que este completamente armada.

Características generales de la instalación.

Debido a la longitud de la luminaria se armará por completo en el taller de fabricación, de este modo será transportada en un camión hasta el sitio de instalación.

Proceso de instalación.

Para el proceso de montaje la luminaria estará armada por completo previamente. Quedando lista para ser montada en la base de concreto que previamente se realizo el colado y que fue insertada en el hueco de tierra (ver **figura 76**), este hueco puede ser hecho manualmente escarbando con pico y pala o mediante retro excavadora, la elección del procedimiento para escarbar dependerá del presupuesto asignado.



Figura 76. Ejemplo de fijación de una luminaria a la base de concreto.

Paso 1. Izamiento.

Se manejan dos posibilidades de izamiento, una con grúa y otra de modo manual, se explicarán los procesos detalladamente.

Para la colocación de la luminaria se deberá tener previamente la base de concreto, esta deberá contar con los pernos de modo que embonen perfectamente dentro de los barrenos de la base de la luminaria.

Procedimiento A. Izamiento manual.

La elevación manual se caracteriza por usar fuerza muscular humana para erguir la luminaria, se realiza colocando tirantes en los extremos superiores de la luminaria, la base se coloca en su sitio de modo que no se pueda patinar, a continuación, se procederá a elevar la luminaria jalando de los tirantes o sogas hasta que quede completamente erguida. Dos personas son suficientes para erguir la luminaria, este método se usa debido a su reducido costo, sin embargo, se ocupa mayor tiempo.

Procedimiento B. Elevación con grúa.

La elevación con grúa se usa como un método rápido y eficiente de instalación (ver **figura 77**), en este método la intervención humana es mínima reduciéndose a centrar la base y colocar las tuercas. La luminaria será amarrada a los tirantes de modo que quede completamente suspendida, así se procederá a elevarla y colocarla justo en el sitio donde están los pernos de fijación.



Figura 77. Ejemplo de izamiento con grúa en la UAM Azcapotzalco.

La elección del procedimiento 1 o 2 dependerá de los recursos económicos con los que se cuente el proyecto ya que ambos son factibles técnicamente.

Paso 2. Atornillado

Se procederá a atornillar la base con las tuercas de seguridad, para esto se usará una llave española colocado otra tuerca de seguridad, pero invertida, de modo que se presionen una contra la otra y en el espacio entre ellas se inserte la llave, al terminar se quita la tuerca superior y se procede con la siguiente tuerca en sentido de las manecillas del reloj.

Paso 3. Ajuste de la celda fotovoltaica.

Una vez instalada la luminaria se procederá a subir con un andamio (con la finalidad de no apoyarse en ningún elemento) para verificar que la celda fotovoltaica este correctamente orientada hacia el sur y que se encuentre en un ángulo de 25°, ambos parámetros se pueden medir con un teléfono inteligente que cuente con alguna aplicación para medir ángulos y brújula.

Paso 3. Conexión eléctrica.

Se procederá a conectar todos elementos del sistema eléctrico (lámpara, generador y batería al controlador de carga.

Paso 4. Verificación

Por la noche se verificarán los niveles de iluminación del área con un luxómetro, de modo que coincidan con los de las especificaciones de la lámpara.

Instaladores.

Serán necesarios tres personas para llevar a cabo la instalación de una luminaria, un instalador que dirija la operación y dos ayudantes. No son necesarios conocimientos técnicos complejos más allá del uso básico de herramientas manuales. En caso de que la luminaria sea izada manualmente dos personas podrían jalar de los tirantes fácilmente ya que la mayoría del peso de la luminaria se encuentra en la parte inferior.

Perfil del instalador.

El personal de instalación serán hombres de entre 20 y 50 años de edad debido a que cuentan con la fuerza física suficiente para realizar el trabajo de tirar una soga con el peso de la luminaria (aproximadamente 70kg), se tendrá preferencia a contratar personal del lugar donde sean instaladas las luminarias, es decir en el caso del proyecto del fraccionamiento “La Noria” serán personas del municipio de Salina Cruz del estado de Oaxaca, ya que con esta acción se favorece el desarrollo económico de la región. El empleo será temporal, y el mismo durará solamente por el periodo del proyecto.

El instalador líder deberá contar con alguna especialidad en electricidad o electrónica a nivel bachillerato o de preferencia nivel licenciatura, se podría capacitar al personal en un aula teórico practica durante 10 horas en el mismo taller de fabricación.

Respecto a los instaladores ayudantes bastara con que cuenten con conocimientos básicos de electricidad y que tengan nivel de bachillerato dado que son necesarios algunos conocimientos técnicos.

Equipo de seguridad.

El personal que realice la instalación de la luminaria deberá contar con ciertos elementos de seguridad tales como arneses, casco y chaleco de un color que sobresalga.

5.4. Cálculo del costo del kWh.

Para calcular la energía unitaria y conocer el costo que tendría el kWh producido se sigue el siguiente procedimiento:

Paso 1. Se obtiene la cantidad de energía generada en promedio por día.

Por lo tanto, se obtienen **0.132 kWh al día**

En un año la luminaria generaría: **48.42 kWh al año**

Paso 2. Se calcula la vida útil del sistema de generación.

El cálculo de la vida útil de la luminaria es un proceso complejo que implicaría el análisis y pruebas de fatiga y destructivas, esto sale de los alcances del proyecto y por lo tanto se estimara solo en base a la vida útil de los sistemas de generación como es el panel solar y el generador eléctrico ya que son los componentes que sufren un deterioro más importante en comparación con el poste y los elementos estructurales.

5.4.1 Vida útil de los elementos de mayor desgaste.

En la **tabla 38** se muestran los elementos que tienen mayor desgaste con la finalidad de determinar la vida útil de la luminaria en base a estos elementos.

5.4.2 Vida útil de panel fotovoltaico.

Según Rodríguez C., Sarmiento A. mencionan “Siendo estimada la vida útil para este proyecto en 20 años”. Refiriéndose a la vida útil del panel fotovoltaico. Por lo tanto, **se estimará una vida útil de 20 años** suponiendo un pronto deterioro.

5.4.3 Vida útil del generador eléctrico.

Según menciona el fabricante ABB (2018) “Dependiendo de la aplicación, el ciclo de vida de una máquina eléctrica es entre 20 y 30 años.” Por lo tanto, **se estimará una vida útil de 30 años para el generador eléctrico.**

5.4.4 Vida útil de la lámpara.

Según menciona W. Diewald “Su larga vida es de 30.000 hasta 100.000 horas a temperaturas de servicio adecuadas” (W. Diewald, 2004, p. 3-5). Por lo tanto, como la luminaria estaría encendida solo la mitad de este tiempo se **estima una vida útil de 11 años**, y si se desea se podrá cambiar tantas veces como sea necesario.

5.4.5 Vida útil de la batería.

Se menciona en Bardo, S. (2018) “La expectativa de vida de las baterías VRLA es entre 5 a 10 años.” En este caso las baterías se cambiarían cada 6 años ya que son uno de los elementos que sufre deterioro con el tiempo y se tendría que cambiar tantas veces sea necesario.

Por lo tanto, de manera resumida se muestra en la **tabla 38** la vida útil de los elementos que sufren mayor deterioro en la luminaria son:

ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS QUE SUFREN MAYOR DETERIORO	
Vida útil de panel fotovoltaico	20 años
Generador eléctrico	30 años
Lámpara LED.	11 años
Baterías.	6 años

Tabla 37. Estimación de vida útil de los elementos que sufren mayor deterioro.

En base a esta estimación se puede hacer una estimación de la vida útil de la luminaria obteniendo el promedio de la vida útil de los elementos de mayor costo y que son difíciles de intercambiar, estos elementos serían el generador y la celda fotovoltaica, ya que la lámpara y la batería son fácilmente intercambiables. Haciendo el promedio de la vida útil de estos dos elementos se podría decir que

La vida útil de la luminaria es de 25 años

Paso 3. Si la luminaria genera 48.42 kWh al año, en 25 años de vida útil generaría.

Energía producida en 25 años: 1210.61 kWh.

Paso 4. Considerando existirán pérdidas en el sistema se manejan estas en un valor de 1%.

Por lo tanto, se tiene que el consumo eléctrico total en el ciclo de vida es:

$$E_{\text{ciclo de vida}} = 1198.50 \text{ kWh}$$

Paso 5. Considerando que **cada 11 años se tendría que cambiar la lámpara LED, y cada 6 años las baterías**, estas se cuentan como ya pagadas en el precio total de la luminaria las veces que abarque el ciclo de vida de la luminaria, es decir 25 años (**tabla 39**).

Elemento	Número de veces que se cambiara la pieza	Costo unitario	Costo de los recambios
Lámpara LED	2	\$420	\$840
Baterías	4	\$450	\$1800
		TOTAL	\$2640

Tabla 38. Número de recambio de partes en la vida útil de la luminaria.

Por lo tanto, el costo total de la luminaria considerando los recambios de lámparas y baterías durante el periodo de ciclo de vida de 25 años de la luminaria sería de:

Costo de luminaria con partes incluidas en 25 años \$17,162.

Paso 6. Se suma el costo del mantenimiento.

Costos de mantenimiento preventivo.

Otros requisitos que deben cumplir las luminarias es que sean de fácil instalación y mantenimiento. Para ello, los materiales empleados en su construcción son los adecuados para resistir el medio ambiente el ya que al ser una zona próxima al mar el ambiente salino corroe rápidamente las estructuras que no estén protegidas, es por esta razón por la que se realizó el diseño en aluminio de acabado anodizado, y como protección extra se recomienda aplicar una capa de pintura auto motiva. El programa puede ser aplicado por personal con conocimientos técnicos en modalidad de contrato por temporada, lo ideal es que lo realicen los mismos vecinos de la zona. Considerando la revisión por luminaria no lleve más de **3.5 horas** y considerando un salario mínimo de área geográfica única de \$88.36 se tiene que el **costo del mantenimiento cada 6 años sería \$288.25 pesos**, se pueden ver los aspectos a revisar en el mantenimiento en la **tabla 40**.

Elemento	Número de veces que se cambiara la pieza	Periodo de revisión	Costo unitario	Costo total
Revisión visual general de puntos de seguridad en puntos de unión (aspas con brazos, brazo de la celda solar con el poste, brazo de la lámpara con el poste, poste con la base).	N/A	Cada 6 años	N/A	\$288.25
Revisión general de componentes eléctricos y electrónicos. Engrasado de baleros y rodamientos				

Tabla 39. Elementos de revisión en servicios de mantenimiento.

Si se realiza un total de **4 servicios de mantenimiento durante la vida útil de la luminaria** se tiene que:

Costo de mantenimiento por luminaria eólico-solar en los 25 años: \$1153 pesos

Paso 7. Se suman los costos de mantenimiento, de las piezas de recambio que ocupara en 25 años y los costos de mantenimiento que se harán durante el ciclo de vida del producto.

Costo total de la luminaria híbrida instalada considerando los recambios de lámparas, baterías y servicios de mantenimiento preventivo (\$)

\$18,315 pesos

Se divide el costo total de la luminaria ya instalada entre la cantidad de energía real que produce en el ciclo de vida de 25 años y se obtiene el costo del kWh:

Costo kWh producido en la luminaria híbrida (\$)

\$15.28 pesos

5.5. Proceso de mantenimiento.

Se decidió albergar todos los elementos funcionales en la base de la luminaria con la finalidad de que se accediera a ellos fácilmente. Se colocó una compuerta con llave para que se accediera a dichos elementos y no fueran a ser robados.

Personal de mantenimiento.

El personal encargado del mantenimiento será personal que cuente con conocimientos técnicos en electricidad y electrónica, y serán contratados para el proyecto, se hará énfasis en que sean personas pertenecientes al lugar donde han sido instaladas, es decir personas que vivan en el fraccionamiento “La Noria” o lugares cercanos, **se puede optar por implementar un programa de capacitación en escuelas de nivel medio superior y superior para que los estudiantes de áreas técnicas se capaciten** y puedan realizar el mantenimiento ya que esto promoverá que al pertenecer al mismo fraccionamiento se revisen continuamente las luminarias y de ese modo cualquier falla sea reportada por los vecinos prontamente.

Proceso de mantenimiento.

En la **tabla 40** quedo planteado el programa de mantenimiento preventivo, este programa puede ser aplicado por personal técnico contratado por temporada, considerando la revisión por luminaria no lleve más de **3.5 horas** y considerando un salario mínimo de área geográfica única de \$88.36. Se realizarán un total de **4 servicios de mantenimiento durante la vida útil de la luminaria.**

Para realizar el proceso de mantenimiento preventivo respecto a la revisión visual general de puntos de seguridad en puntos de unión (aspas con brazos, brazo de la celda solar con el poste, brazo de la lámpara con el poste, poste con la base) se seguirán los siguientes pasos:

1. Colocar un andamio de 4 metros de altura para que el personal de mantenimiento encargado logre alcanzar el extremo superior de la luminaria.
2. Proceder a revisar visualmente los puntos de unión (aspas con brazos, brazo de la celda solar con el poste, brazo de la lámpara con el poste, poste con la base), poniendo especial atención a marcas o signos de desgaste prematuro en el material e indicios de fractura del material.
3. Una vez revisados los puntos de unión visualmente se procede a aplicar una ligera fuerza con la mano a fin de verificar la pieza este unida y al moverla no haya algún ruido que indique su posible fractura.

Para realizar el proceso de **mantenimiento preventivo enfocado al engrasado de los rodamientos** se realizará el siguiente procedimiento:

1. Para el rodamiento superior se usará aceite en aerosol WD-40, se aplicará en el rodamiento desatornillando el hub y esparciendo generosamente sobre el rodamiento durante 2 minutos.
2. Para el rodamiento inferior se abrirá la tapa de la base y usando una lámpara de mano se limpiará el área donde está albergado el rodamiento, en seguida se procederá a esparcir el aceite en el rodamiento por un periodo de 2 minutos, teniendo cuidado de colocar previamente periódico o un trapo afín de cubrir los elementos eléctricos y electrónicos.

Para realizar el proceso de **mantenimiento preventivo a componentes eléctricos y electrónicos** se seguirá el siguiente procedimiento:

Para la batería.

1. Se abrirá la tapa de la base y procederá a desconectar las terminales de la batería, una vez desconectado se procederá a limpiar las terminales de la batería con un cepillo de alambre aplicando unas tres partes de bicarbonato de sodio y una parte de agua.
2. Se lijaron las terminales en caso de encontrar corrosión.
3. Se medirá el voltaje con un multímetro, si el voltaje es menor a 12 volts y ya han pasado los 6 años de vida útil de la batería se procederá a cambiarla.
4. Se procederá a reconectar la batería.

Para el controlador de carga.

1. Se verificará visualmente que no existan signos de cortocircuito o de algún componente quemado.
2. Se verificará en la pantalla del controlador de carga esté encendida y no muestre ningún mensaje de error.

Para el generador.

1. Se aplicará aceite WD-40 en la parte superior del rodamiento superior del generador durante un periodo de 2 minutos.
2. Se verificará que no existan marcas de desgaste prematuro o de corto circuitos en el devanado.

Limpieza.

Respecto a la limpieza de los elementos el que necesita más esta atención es el panel fotovoltaico ya que este disminuye su eficiencia al acumular polvo y por lo tanto entregará menor energía al sistema, corriendo el riesgo de que si no hay lluvias a lo largo del año este acumule suficiente polvo y deje de entregar energía. Por ello se recomienda ampliamente la limpieza periódica del panel al menos cada **6 meses**, su limpieza implicará el subir mediante una escalera de tijera a fin de no apoyarse en la luminaria

y con un trapo húmedo y un limpiador para vidrios basado en alcohol limpiar el panel en el periodo indicado, este trabajo lo puede realizar el mismo personal de mantenimiento, quienes como ya se menciono consistirá en los mismos vecinos del fraccionamiento y que recibirán un salario por este trabajo. Con estos puntos detallados se resumen todos los costos de la luminaria híbrida en la **tabla 41**.

COSTOS DE LA LUMINARIA HIBRIDA	
Costo de prototipo poste 5 m (\$)	12,372.00
Costo base concreto (\$)	650.00
Salario mínimo (\$)	88.36
Horas de instalación (Hrs)	16.98
Costo de mano de obra e instalación (\$)	1,500.00
Costo total de una luminaria instalada (\$)	14,522.00
Energía producida durante toda la vida útil de la luminaria considerando pérdidas y degradación (E. ciclo de vida) kWh	1198.51
Número de recambios de lámparas (cada 11 años)	2.27
Costo de Lámpara LED 12 V (\$)	420.00
Costo total de recambios Lámpara LED (\$)	840.00
Costo total de partes de recambio en el ciclo de vida de la luminaria (baterías+ lámpara led) (\$)	2,640.00
Costo total de la luminaria híbrida considerando los recambios (\$)	17,162.00
Costo de mantenimiento cada 6 años (\$)	288.25
Número total de servicios de mantenimiento	4
Costo total de los servicios de mantenimiento (\$)	1,153.17
Costo total de la luminaria híbrida instalada considerando los recambios de lámparas, baterías y servicios de mantenimiento preventivo a 25 años (\$)	18,315.17
Costo kWh producido en la luminaria híbrida (\$)	15.28

Tabla 40. Costos de la luminaria híbrida.

Aplicando estos costos al proyecto de iluminación del fraccionamiento “La Noria” (**tabla 42**) se tiene que el costo total para proveer de luminarias híbridas al fraccionamiento en **las zonas de mayor urgencia** es de:

Costo total del proyecto usando energía renovable: \$3,457,903.47 pesos

Los costos de aplicar este proyecto en el fraccionamiento “La Noria” se resumen en la siguiente tabla:

PROYECTO FRACCIONAMIENTO "LA NORIA" CON LUMINARIAS HÍBRIDAS	
Longitud lineal de calles con la necesidad más urgente de iluminación (m)	944.00
Ancho promedio por calle (m)	3.60
Área total de calles con la necesidad más urgente de iluminación (m ²).	3398.40
Área de iluminación de cada luminaria colocada a 5 metros de altura (m ²).	18
Número de luminarias en total	188
Distancia por cada lado entre luminarias (m)	5
Costo total del proyecto de iluminación híbrida en el fraccionamiento "La Noria" en 25 años	3,457,903.47

Tabla 41. Costos del proyecto de instalación de luminarias híbridas en el fraccionamiento “La Noria”.

5.5.1 Comparativa contra una luminaria convencional.

Deseando demostrar la viabilidad del proyecto se hará una comparativa del sistema con energía renovable contra un sistema de luminaria con energía convencional, esto se hará tomando los mismos elementos de la luminaria renovable, pero sin los elementos del generador eólico ni la celda fotovoltaica y se usará como fuente de energía el tendido eléctrico convencional de la Comisión Federal de Electricidad.

A esta luminaria se añadirá el costo del cableado y la instalación de este.

Costo de la luminaria convencional: \$3,365 pesos.

Considerando que el costo del kWh en esta luminaria suponiendo consuma los mismos 1198 kWh en 25 años, se tendría que alimentar por medio de la red convencional, por lo tanto, se considerara la conexión a la red de electricidad de CFE, esta electricidad tiene un costo de kWh en la tarifa DAC de \$3.60 pesos.

Por lo tanto, se tiene que el costo del kWh en esta luminaria convencional es de

1 kWh luminaria convencional= \$3.60 pesos.

Calculando el costo de la energía que costaría en una luminaria eólico-solar durante su ciclo de vida (25 años):

Costo de energía de luminaria convencional LED: \$4,336.20

Mientras que el costo total que se pagaría a CFE por concepto de energía en una luminaria convencional durante su ciclo de vida (25 años) se sumaría el costo de la luminaria convencional, más los costos de cableado y el respectivo recambio de partes como la lámpara cada 11 años, se obtiene un costo total de:

Costo total de luminaria convencional considerando los recambios, servicios y energía en 25 años

\$12,404.37 pesos

Los costos a detalle de la luminaria convencional se resumen en la **tabla 43**.

COSTOS LUMINARIA CONVENCIONAL	
Costo de prototipo poste 5 m (m)	3,365.00
Costo base concreto (\$)	650.00
Salario mínimo (\$)	88.36
Horas de instalación	16.98
Costo de mano de obra e instalación	1,500.00
Costo total de una luminaria instalada	5,515.00
Energía demandada durante toda la vida útil de la luminaria (E. ciclo de vida) kWh	1,204.50
Número de recambios de lámparas (cada 11 años)	2.27
Costo de Lámpara LED 12 V	420.00
Costo total de recambios Lámpara LED	840.00
Cable para distribuir energía.	400.00
Costo de instalación de red de cableado eléctrico por luminaria	1,000.00
Costo total de partes de recambio en el ciclo de vida de la luminaria (cable+ lámparas led)	6,915.00
Costo de mantenimiento cada 6 años	276.76
Número total de servicios de mantenimiento	4.17
Costo total de los servicios de mantenimiento	1,153.17
Costo total de la luminaria convencional considerando los recambios de lámparas y servicios de mantenimiento (\$)	8,068.17
Costo de kWh en la tarifa DAC (\$)	3.60
Costo de la energía total kWh en luminaria convencional durante el ciclo de vida de la luminaria (25 años) (\$)	4336.20
Costo TOTAL de luminaria convencional considerando los recambios, servicios y energía en 25 años (\$)	12,404.37

Tabla 42. Costos de la luminaria convencional.

Aplicando estos costos al proyecto de iluminación del fraccionamiento “La Noria” se tiene que el costo total para proveer de luminarias híbridas al fraccionamiento en las zonas de mayor urgencia es de:

Costo total del proyecto usando energía convencional \$2,341,944.43 pesos

Los costos de aplicar este proyecto en el fraccionamiento “La Noria” se resumen en la **tabla 44**.

PROYECTO FRACCIONAMIENTO "LA NORIA" CON LUMINARIA CONVENCIONAL	
Longitud lineal de calles con la necesidad más urgente de iluminación (m)	944.00
Ancho promedio por calle (m)	3.60
Área total de calles con la necesidad más urgente de iluminación (m ²).	3,398.40
Área de iluminación de cada luminaria colocada a 5 metros de altura (m ²).	18
Número de luminarias en total	188.80
Distancia por cada lado entre luminarias (m)	5.00
Costo total del proyecto de iluminación convencional en el fraccionamiento "La Noria" en 25 años	2,341,944.43

Tabla 43. Costos del proyecto de iluminación “La Noria”.

5.5.2 Análisis luminaria híbrida contra luminaria convencional.

Por lo tanto, se puede ver que la aplicación de luminarias convencionales resulta ser más económico que el usar luminarias híbridas, esto se analizará en los siguientes puntos.

Problema: Alto costo del kW-h de la luminaria híbrida, ya que el producir electricidad en esta luminaria tiene un costo de \$15.28 pesos contra los \$3.60 pesos del costo del kWh de la red de CFE.

Soluciones:

1. **Diseñar un rotor eólico que capte mayor cantidad de viento con el mismo tamaño**, de modo que aumente la eficiencia de este (Coeficiente de potencia C_p), ya que el coeficiente de potencia máximo es de 0.057, lo cual es muy bajo para el promedio de 0.35 que alcanzan los rotores Darrieus. Como se

mencionó se puede incrementar el tamaño de la cuerda de las aspas para que capte más viento y aumente la eficiencia y por lo tanto entregue más energía.

2. Diseñar un rotor eólico de mayor tamaño. Al incrementar el tamaño del rotor se incrementa la producción de energía.

3. Se observó un problema en el generador durante las pruebas de campo, este giraba a un alto número de RPM sin embargo giraba por unos cuantos segundos para después detenerse, o en algunos casos la fuerza del viento no era suficiente para vencer la inercia inicial del rotor, esto se debió en parte a que el generador eléctrico usado estaba “sobre dimensionado” para el tamaño de la turbina eólica y por lo tanto generaba un torque mayor que solo con rachas de viento fuertes se lograba vencer, por ello se recomendaría **usar un generador de menor capacidad (50 W)** y de preferencia un generador de bajo “cogging”, esto es la fuerza inicial que se opone al tratar de hacer girar un generador.

4. Se podría contemplar la posibilidad de **usar como fuente energética única la celda fotovoltaica**, evidentemente sería de mayor tamaño y mayor costo para cubrir la demanda. Esta medida es cuestionable ya que de aplicarla se perdería el mérito tecnológico y de investigación de todo el proyecto.

Problema: Alto costo del prototipo.

Soluciones:

5. Ante el alto costo de la luminaria se pueden mejorar los procesos de manufactura por métodos más económicos por **ejemplo sustituyendo el corte láser de la lámina de aluminio por corte de cizalla y tijera con molde** ya que es un corte preciso y se conserva la calidad del corte.

6. Se puede reducir el costo **sustituyendo el poste de aluminio por un poste de acero sin costura.**

7. Se puede reducir el costo de la luminaria al inscribir el proyecto al **fondo de sustentabilidad energética o en el programa de bonos de carbono.**

Aun así, la implementación del proyecto podría traer algunos beneficios, que se analizarán en la siguiente sección.

5.5.3 Beneficio social que resultaría en caso de aplicar el proyecto de iluminación en el fraccionamiento “La Noria”.

El uso de estas luminarias traería mayor percepción de seguridad y bienestar asociado al lugar donde viven a los habitantes de “La Noria” ya que como lo demuestran los resultados de la investigación sobre el impacto de las luminarias públicas, también se puede hacer mención del color de la lámpara ya que también se ha encontrado una correlación entre la percepción de seguridad del transeúnte y el color de la lámpara.

Menciona García J. (2011) “Se ha comprobado que la luz, influencia los estados de ánimo, puede estimular la productividad, la eficiencia, disminuir el stress, entre un sin fin de emociones.”

Existen datos que indican que un diseño adecuado del entorno incide directamente en el estado de ánimo y en la calidad de vida, “El diseño adecuado y el uso eficaz del entorno construido pueden conducir a una reducción en el miedo y la incidencia de la delincuencia, y una mejora en la calidad de vida” (Crowe, 2000, p. 96, citado por Cozens, P. 2008).

5.5.4 Beneficio ambiental que resultaría en caso de aplicar el proyecto de iluminación en el fraccionamiento “La Noria”.

En caso de aplicar el proyecto de iluminación en el fraccionamiento “La Noria” se **evitaría la emisión de 443 Kg de CO₂** considerando que la generación de 1 kWh en fuentes convencionales de generación basadas en petróleo genera **0.37 kg de CO₂ / kWh** a la atmósfera por cada luminaria instalada en comparación de las luminarias de fuentes de energía no renovable. Considerando que cada luminaria generaría en su ciclo de vida 1198 kWh, el conjunto de 188 luminarias generaría 83248 kg de CO₂.

Este es uno de los mayores beneficios que traería la implementación de este proyecto ya que el costo ambiental muchas veces es mayor a largo plazo en cuestiones de salud y afectación al medio ambiente. Además, se puede considerar las posibles soluciones de reducción de costos.

5.6. Conclusiones.

En este proyecto queda demostrada la efectividad y el adecuado funcionamiento de la luminaria híbrida de funcionamiento eólico-solar. Se cumplió satisfactoriamente la hipótesis al generar energía eléctrica durante la noche usando como fuentes el sol y el viento. Se deja este antecedente para futuros proyectos, y se espera sirva para promover el uso de las energías renovables ya que a pesar de que el país se está abriendo a estas nuevas fuentes de generación aún hay resistencia por parte de los clientes/usuarios al considerarla una fuente poco confiable y costosa. Sin embargo, podemos ver que estas luminarias son comunes en otros países tecnológicamente más desarrollados o aun en los países llamados “emergentes” que van rumbo a ser superpotencias como es el caso de China, eso quiere decir que son técnica y económicamente viables.

Lamentablemente las luminarias híbridas que están instaladas en el país son de procedencia extranjera haciendo que México quede solamente como un comprador e instalador de tecnología extranjera, como es el caso de las luminarias híbridas instaladas en nuestra propia Universidad. Es por esto una de las razones por las que se realiza este proyecto, para promover el desarrollo de tecnología nacional de calidad. La diferencia del costo superior de la luminaria híbrida en comparación al de una luminaria convencional es de \$5,911 pesos durante la vida útil de ambas luminarias, esta diferencia se puede abatir en proyectos posteriores mejorando los procesos de fabricación o tomando la alternativa de la producción en serie, de este modo se reducirían en gran medida los costos y así se podría abaratar el costo de la luminaria y del kWh haciéndola directamente competitiva con el costo del kWh convencional que proviene de grandes centrales de generación. Sin embargo, la rentabilidad de la luminaria se eleva en lugares o contextos en donde no exista una fuente convencional de electricidad ya que resulta muy costoso el llevar electricidad a esos lugares.

Respecto a la cantidad de energía que genera resultó ser suficiente para satisfacer la demanda, y se comprobó la hipótesis planteada, quedó cumplido satisfactoriamente el objetivo general al diseñar y construir una luminaria que funcione únicamente con fuentes energéticas provenientes del sol y el viento, satisfaciendo la demanda de energía eléctrica necesaria para alimentar una luminaria de 12 W durante la noche. Según lo planteado en el capítulo 2, se podría aumentar la producción de energía eléctrica mejorando el diseño del rotor y específicamente aumentando la cuerda del aspa a 0.28 m para que capte más viento.

En lo que respecta a los antecedentes se estudió un gran número de luminarias híbridas, algunas con fuentes independientes de energía ya sea de fuentes eólicas o solares, quedó demostrado en este proyecto

que una luminaria que funcione con una sola fuente de energía tiene altas probabilidades de dejar funcionar o funcionar deficientemente al no existir suficiente cantidad de energía acumulada en el sistema, por lo tanto se puede considerar a las luminarias híbridas como más confiables por no depender de una sola fuente energética, es por esto que se decidió implementar ambas fuentes energéticas. Respecto al proyecto anterior titulado “Xadany” realizado en el año 2011, este prototipo consistía en una turbina eólica tipo Darrieus, esta se usó como precedente para este proyecto en donde se obtuvieron mejoras en varios aspectos como es el uso de materiales duraderos, el principal avance respecto al prototipo anterior es el que este prototipo entrega energía eléctrica y arranca a 4.43 m/s, en comparación de los 10 m/s de velocidad de arranque que tenía el anterior prototipo y la casi nula generación de energía eléctrica.

En el capítulo 2 se pudo encontrar mediante la investigación etnográfica las necesidades de la población respecto a los lugares en donde era más necesaria la iluminación. Se encontró la importancia de diseñar a un precio competitivo ya que al ser un proyecto que está planeado en un contexto donde no hay muchos recursos económicos es importante que este pueda ser costeable por parte del municipio. También debido a que el producto estará en competencia directa con las luminarias convencionales y con otras luminarias híbridas. Eso quedó demostrado en el costo total de la luminaria el cual es de \$18,315 pesos incluyendo las partes que serían reemplazadas durante su ciclo de vida, comparando el costo de la luminaria híbrida contra el costo de una luminaria convencional de las mismas características costaría aproximadamente \$12,404 pesos incluyendo el costo de la energía suministrada por CFE, por lo tanto se puede decir que la diferencia \$5,911 pesos se puede disminuir bastante mejorando los procesos de manufactura, usando un generador eléctrico de menor tamaño (30 W) y mejorando el diseño del rotor eólico.

Para el diseño de la luminaria se tomó como referencia el contexto de aplicación, este es un fraccionamiento de casas de interés social ubicado en el municipio de Tehuantepec, Oaxaca, en donde se han registrado incidentes delictivos reportados por los pobladores, principalmente el robo a casa habitación, por lo tanto, se decidió que la iluminación sería un buen factor disuasivo ante este delito. Se planteó que con la instalación de estas luminarias se podría solucionar en parte el problema de inseguridad en este fraccionamiento, debido a que este problema es muy complejo y abarca muchos factores sociales y culturales aparte de la iluminación, factores que se podrán estudiar en trabajos posteriores. Aun así, queda planteada la propuesta de colocar cámaras de video vigilancia de manera que ayudarían a resolver el problema de inseguridad del lugar. También se deja pendiente para posteriores proyectos la instalación de un sistema de carga para dispositivos por USB y la implementación de una banca para que el usuario cargue su dispositivo mientras descansa. Se propuso un diseño que no se considerara demasiado irruptivo al entorno, ya que al ser visto por personas del municipio les resultó atractivo, este diseño puede ser pintado con algunos patrones de color en tonos pastel que sean acordes a la cultura del istmo, aunque lo más

recomendable es que se deje sin pintura ya que el aluminio refleja el calor y de este modo disminuye la temperatura de la luminaria, aunque este factor no afecta el desempeño es recomendable tomarlo en cuenta. Respecto a los materiales usados, estos dieron muy buen resultado durante las pruebas de campo ya que no se detectó corrosión alguna ni desgaste prematuro o signos de fatiga de materiales, salvo en las pruebas a alta velocidad que se realizaron en el túnel de viento a velocidades superiores a los 10 m/s en donde una de las aspas colisionó con el túnel debido a la fuerza centrífuga generada, problema que fue resuelto colocando cables de acero en los extremos de las aspas.

Quedó demostrada la fiabilidad del diseño propuesto en el aspecto de la seguridad estructural ya que al ser un diseño para las condiciones climáticas de sol y lluvia del istmo, resultó en un diseño robusto y ligero, ya que era necesario se cumpliera con estos criterios específicamente en el diseño del rotor, es por esto que se decidió usar aluminio como material predominante, también se tomó en consideración para el diseño la caída de luminarias que se ha dado recientemente en la carretera Tehuantepec-Salina Cruz esto sucedió debido a que estas luminarias albergan todo el peso de las baterías en la parte superior del poste provocando vibraciones en el sistema y su posterior colapso.

Se diseñó la luminaria en dos etapas. Para el rotor eólico primero se realizó un diseño teórico en el software Qblade, este software permitió encortar el número óptimo de aspas según la potencia que entregaba el eje. También se encontró que la longitud óptima de la cuerda era de 0.20 m, pero los resultados arrojados en las pruebas de campo demostraron que esta longitud de cuerda no era suficiente para captar el viento y vencer la inercia del rotor, y que de este modo permaneciera girando por más tiempo. Por lo que se recomendaría experimentar en futuros proyectos con una cuerda de mayor longitud, específicamente de 0.28 m con esta cuerda se obtuvo un desempeño de potencia mayor en la simulación de software, pero que al ser cercana respecto a la cuerda de 0.20 m se optó por este tamaño debido al incremento de costos que representaría. Respecto a la orientación del intradós colocado hacia afuera del eje no quedó duda que es la mejor configuración para obtener un mejor desempeño general. En lo que respecta a la selección del panel fotovoltaico esta fue adecuada y se podría aumentar el tamaño a fin de incrementar la potencia. Respecto al sistema de arranque propuesto, quedó demostrada su efectividad ya que el rotor arrancaba a velocidades de 5 m/s sin generador acoplado y a 4.43 m/s con generador acoplado, sin embargo, se puede reducir esta velocidad usando materiales aún más ligeros en el rotor que cumplan el criterio de resistencia y económica como puede ser el uso de fibra de vidrio. Uno de los aspectos que limitó la potencia del rotor eólico fue el tamaño del túnel de viento, ya que se planteó desde un inicio el probar el rotor dentro de este túnel, aunque también resultó ser de gran utilidad ya que se pudo contrastar los resultados teóricos y empíricos. En las pruebas en condiciones ideales se encontró que la fuente de energía que generó mayor potencia eléctrica fue la fuente de energía solar, generando 25 W, en

comparación de los 14 W del generador eólico, esta cifra pudiera haberse igualado con un rotor de mayor tamaño, pero como se mencionó se tenía la limitante del tamaño del túnel.

También quedó demostrado que para obtener una potencia óptima del generador eólico es necesario usar un controlador de carga con microprocesador ya que administra adecuadamente el voltaje y la corriente de modo que se extraiga la mayor cantidad de potencia a distintas velocidades de viento, además de que el controlador de carga limita la velocidad del rotor eólico después de los 15 m/s, cumpliendo así con el principio de diseño de seguridad, este hace referencia a diseñar con sistemas de seguridad adecuados para los fuertes vientos del istmo.

Las pruebas de campo arrojaron resultados satisfactorios, por esta razón se cumplió el objetivo de cargar la batería y que esta alimente la lámpara, aun cuando había momentos en los que el viento era muy escaso el sol ayudo a contrarrestar estas carencias, así como había días con poco sol en donde el viento predominaba. También es de importancia señalar la adaptación que se le hizo al rotor al implementar brazos de conexión para aumentar el diámetro del rotor ya que se detectó que entregaba mayor potencia con esta adaptación, esto es de esperar ya que en condiciones reales las rachas de viento son muy frecuentes en la zona del istmo y por lo tanto es necesario incrementar el diámetro del rotor para que se pueda vencer más fácilmente la inercia inicial y el rotor permanezca en movimiento mayor cantidad de tiempo. Desafortunadamente no se contó con las facilidades para probar la luminaria en el fraccionamiento "La Noria" es por esto por lo que la probé en una casa del municipio de Tehuantepec en condiciones muy similares de recurso eólico y solar a "La Noria". La posible implementación de este proyecto a gran escala en el fraccionamiento "La Noria" podría dejar como beneficio el ahorro en la emisión de 443 kg de CO₂, considerando que la generación de 1kWh en fuentes convencionales de generación basadas en petróleo genera 0.37 kg de CO₂ a la atmósfera por cada luminaria instalada en comparación de las luminarias de fuentes de energía no renovable, el evitar estas emisiones sería uno de los mayores beneficios que traería la implementación de este proyecto ya que el costo ambiental muchas veces es muy elevado a largo plazo en cuestiones de salud y afectación al medio ambiente. Queda asentado este proyecto para dejar precedente ante uno de los mayores retos de la humanidad, el cual es contar con energía limpia y suficiente para poder satisfacer la demanda futura a nivel global. Y poder llegar a esa ambiciosa meta propuesta por el actual mandatario mexicano Enrique Peña Nieto, donde hace mención en la cumbre mundial de la energía del futuro en el 2016 que la meta para el año 2024 es que el sistema eléctrico nacional funcione con al menos 35% de energías limpias y con 50 por ciento para el año 2050.

5.7. Bibliografía.

ABB (2018), Motores y Generadores servicios, diagnósticos, mantenimientos y repuestos, Recuperado el 26 julio 2018 de: [https://library.e.abb.com/public/](https://library.e.abb.com/public/8ec6a350c85d39683257d6a0041e224/Catalogo_Servicios_Motores.pdf)

[8ec6a350c85d39683257d6a0041e224/Catalogo_Servicios_Motores.pdf](https://library.e.abb.com/public/8ec6a350c85d39683257d6a0041e224/Catalogo_Servicios_Motores.pdf)

Avia, F.(2014). Energía eólica, tecnología al alza. *Boletín bimestral del fondo de sustentabilidad energética*, N° 6.

Bardo, S.(2018), Baterías, España, Universidad Politécnica de Catalunya. Recuperado de: <http://upccommons.upc.edu>

Bennie F. Blackwell; Louis V. Feltz; Randall C. Maydew (1975). EE.UU. Patente N° 3,918, 839. Albuquerque, N. Mex: U.S. Patent and Trademark Office

Dassault Systèmes (2015). Solid Works [Software]. Waltham, Ma: Dassault Systèmes.

Delta Volt SAC, (2018). Paneles Solares, Tipos y Eficiencias, Perú, Delta Volt SAC. Recuperado de <https://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar/paneles-solares>

Diewald W.,(2006). Nuevas posibilidades de iluminación con LED, Técnica Industrial Especial Electricidad y Electrónica. Octubre 2006. pp. 3-5.

Diputados, C. d. (2012). *Ley general para el cambio climático*. Diario Oficial de la Federación, México D.F., 6 de junio de 2012.

Espinosa. M.A., V. S. (2011). Análisis experimental de una turbina eólica tipo ciclo-giro con perfil de geometría variable. México D.F.: UAM Azcapotzalco.

Fernández, J., (2017). Luminarias. Perú.: Recursos citcea UPC. Recuperado de: <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/luminar1.html>

García, J. (2011). Diseño de luminaria urbana para promover la apropiación y disfrute en la ciudad de Bogotá. Tesis de licenciatura. PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO.

Giddens, A. (1994). The consequences of modernity. Stanford, CA: Stanford University Press.

- Google. (s.f.). [Mapa de La Noria, Oaxaca, México en Google maps]. Recuperado el 20 de marzo, 2018, de: <https://goo.gl/FPSgA7>
- Hernández, L., (29 de noviembre de 2017). A 9 meses de ser inauguradas, continúan cayendo a pedazos paneles solares en Salina Cruz. Cortamortaja. Recuperado de <http://cortamortaja.com.mx/el-istmo/4705-a-9-meses-de-ser-inauguradas-continuan-cayendo-a-pedazos-paneles-solares-en-salina-cruz>
- Holm, D. & Arch, D. (2005). *White Paper "Un Futuro Para el Mundo en Desarrollo Basada en las Fuentes Renovables de Energía"*. Freiburg: ISES.
- IEE. (Instituto de Investigaciones Eléctricas). [Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables en México]. Recuperado el 24 de abril, 2018, de: Fuente: <http://sag01.iie.org.mx/SIGER/>
- Oxford Dictionaries. (2018). Definición de: Tresbolillo. Reino Unido.: Oxford Univesity Press. Recuperado de: <https://es.oxforddictionaries.com/definicion/tresbolillo>
- Paulin, D.(2016). EE.UU. Patente N° 9.249,778B2. Laguna Beach,CA: U.S. Patent and Trademark Office.
- Peña-García, A. Hurtado, M.C. Aguilar-Luzón.(2015). Impact of public lighting on pedestrians' perception of safety and well-being. *Safety Science* 78, 142–148.
- PRODESEN. (2015). *Programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional*. Sener. Mexico: SENER.
- Pechlivanoglou, G. and Lennie, M. (2018). *Qblade [Software]*. Alemania, Berlin: TU Berlin.
- Quintero, C.(2009). Diseño de una luminaria para la ciudad de Bogotá alimentada por energía eólica (Grado de Licenciatura). Recuperado de: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/3956/tesis112.pdf?sequence=1>
- Real Academia Española. (2014). Def. Calle. En *Diccionario de la lengua española* (23.^a ed.). Recuperado de <http://dle.rae.es/?id=6pegX8v>
- Rodríguez C., Sarmiento A. (2011). Dimensionado mediante simulación de sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a la electrificación rural. *Ingeniería Mecánica*. Vol. 14. No. 1, p. 13-21
- Sendekia Ingeniería. (2017). ¿QUÉ ES UN PROTOTIPO Y PARA QUÉ SIRVE?.. Madrid, España.: Sendekia Ingeniería. Recuperado de: <https://sendekia.com/que-es-un-prototipo-y-para-que-sirve/>
- SENER. (2012). *Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026*. Secretaría de Energía. México: SENER.

SMA, (2013). Suministro de electricidad en redes solares aisladas y de respaldo. Compendio tecnológico
Publicación de SMA Solar Technology AG. Alemania.

Valencia, N. (2011). Diagnostico regional del Istmo de Tehuantepec. Recuperado de
http://cedoc.inmujeres.gob.mx/ftpg/Oaxaca/OAX_MetaA4_5_2011.pdf

Vázquez, R. L. (2017). Instalación de Luminarias Híbridas. Recuperado de
<http://iee.azc.uam.mx/luminarias.html>

Cozens, P. (2008). Crime prevention through environmental design. Environmental criminology and crime
analysis, 153.

5.8. Referencias de imágenes

Alfaro, J. (2016). Tipos de molinos de eje horizontal y vertical. [Ilustración]. Recuperado de
<https://ich1104grupo7.wordpress.com/2016/04/23/historia-de-las-turbinas-eolicas/>

Bennie F. Blackwell; Louis V. Feltz; Randall C. Maydew (1975). EE.UU. Patente N° 3,918, 839.
Recuperado de: <https://patents.google.com/patent/US3918839A/en>

Delta Volt SAC (2018). Paneles Solares de Celdas de Silicio. [Fotografía]. Recuperado de
<https://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar/paneles-solares>

Engelec (2018). Turbina de viento micro Q1. [Fotografía]. Recuperado de <https://korean.alibaba.com/p-detail/micro-wind-turbine-q1-200w-squirrel-cage-type-vertical-wind-generator-micro-wind-generator-60690950792.html>

Fernández, J. (2017). Clasificación CIE según la distribución de la luz, Planos de simetría de distintas
luminarias. [Ilustración]. Recuperado de <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/luminar1.html>

Guerrero, I. (2007), Generador elemental, [Ilustración]. Recuperado de
<https://iguerrero.wordpress.com/2007/07/21/topicos-de-gtd-y-consumo-electrico-8/>

Google maps (2018). La Noria, Oax. [Fotografía]. Recuperado de <https://goo.gl/FPSgA7>

Hernández, L. (2017). A 9 meses de ser inauguradas, continúan cayendo a pedazos paneles solares en Salina Cruz. Cortamortaja. [Fotografía]. Recuperado de <http://cortamortaja.com.mx/el-istmo/4705-a-9-meses-de-ser-inauguradas-continuan-cayendo-a-pedazos-paneles-solares-en-salina-cruz>

Hybridyne Power Systems, (2008). Farolas urbanas híbridas. [Fotografía]. Recuperado de <https://e-eolica.blogspot.com/2008/12/farolas-urbanas-hbridas.html>

INEGI (2014). Consulta interactiva de los censos económicos. [Ilustración]. Recuperado de: www.inegi.gob.mx.

Johnson, G. (2018). Savonius rotor. [Fotografía]. Recuperado de <https://www.britannica.com/technology/Savonius-rotor>

Laser & Led (2018). Lámpara 12 W, curva fotométrica para la luminaria modelo Cobra 12 W . [Fotografía, Ilustración]. Recuperado de <https://www.laserandlead.com/catalogo18.pdf>

Levesque, T. (2007). Light-wind outside lamp Dutch Design House. [Fotografía]. Recuperado de <https://inhabitat.com/light-wind-wind-powered-outdoor-light/>

Levesque, T. (2007). Light-Wind: Wind Powered Outdoor Light [Fotografía]. Recuperado de <https://inhabitat.com/light-wind-wind-powered-outdoor-light/duxlite-lighting-company-wind-solar-powered-streetlight-installation-china-2>

López, M. (2014). Región del Istmo de Tehuantepec en el estado de Oaxaca. [Ilustración]. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-26812014000100006

Master (2018), Celda solar 30 W, [Fotografía]. Recuperado de: <https://shop.master.com.mx/product/search?sbq=celda+solar+30+W>

Matysik, S. (2011). Darrieus 55. [Fotografía]. Recuperado de <https://en.wind-turbine-models.com/fotos/GVo9t35cj9l-dornier-darrieus-55-vertikalachser>

Mírez, J. (2015). Molinos de eje vertical. [Ilustración]. Recuperado de <https://jmmirez.wordpress.com/2015/07/27/j830-molinos-de-eje-vertical/>

Qoo10 Pte. Ltd. (2018). Charge controller. [Fotografía]. Recuperado de <https://www.qoo10.sg/item/WIND-SOLAR-HYBRID-PWM-CONTROLLER-600W-WIND-400W-SOLAR-12V-24V/607525940>

SENER, IIE. (2012). Mapa del potencial eólico en México, mapa de irradiación solar global anual en México. [Ilustración]. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62954/Prospectiva_de_Energ_as_Renovables_2012-2026.pdf

Torres, F. (2018). ENERGÍAS RENOVABLES. [Fotografía]. Recuperado de <https://erenovable.com/energias-renovables/>

ANEXO A.

ENTREVISTAS REALIZADAS A LOS PARTICIPANTES DEL SONDEO CULTURAL

PARTICIPANTE 1.

Nombre: Gabriela Cruz.

Edad: 23 años.

1. ¿Consideras que hay algún problema de seguridad en el lugar dónde vives?

Si.

2. ¿Si es afirmativa la pregunta anterior, de qué forma consideras se puede resolver el problema de la falta de seguridad?

- a) Más policías.
- b) Videocámaras.
- c) Más iluminación.
- d) Más empleos.

3. ¿En qué calles de tu localidad consideras es necesaria mayor iluminación?

Av. Norte

4. ¿Qué opina de las luminarias eólico-solares? (Se le muestra al entrevistado una serie de fotos).

Son una buena opción que no contamina tanto como los medios convencionales. Sería buena inversión siempre y cuando se recupere en un tiempo razonable.

5. ¿Qué opina de este modelo? (Se muestra la foto del prototipo)

Luce bonita, tiene un aspecto futurista, pero al parecer desentonaría con el paisaje si es muy grande.

6. ¿Cuánto estima su costo?

Entre 50,000 y 100,000 pesos.

7. ¿De las siguientes tecnologías para generar electricidad en su hogar cual preferiría?

1º- Convencional porque es más segura.

2º- Solar, pero dependería de si hay o no sol.

3º- Eólica, aunque no todos los lugares son aptos.

PARTICIPANTE 2.

Nombre: Karina Vásquez.

Edad: 22 años.

1. ¿Consideras que hay algún problema de seguridad en el lugar dónde vives?

Si

2. ¿Si es afirmativa la pregunta anterior, de qué forma consideras se puede resolver el problema de la falta de seguridad?

- a) Más policía.
- b) Más iluminación
- c) Más educación.
- d) Videocámaras.

3. ¿En qué calles de tu localidad consideras es necesaria mayor iluminación?

En la calle de las vías del tren.

4. ¿Qué opina de las luminarias eólico-solares? (Se le muestra al entrevistado una serie de fotos).

Si aprovecha la energía del viento y del sol es mejor que las convencionales.

5. ¿Qué opina de este modelo? (Se muestra la foto del prototipo).

Luce bonita.

6. ¿Cuánto estima su costo?

Entre 40,000 y 80,000 pesos

7. ¿De las siguientes tecnologías para generar electricidad en su hogar cual preferiría?

- 1º Solar, porque me es más familiar.
- 2º Eólica, porque aquí en la ciudad no hace aire.

PARTICIPANTE 3.

Nombre: Dulce de la Torre.

Edad: 21 años.

1. ¿Consideras que hay algún problema de seguridad en el lugar dónde vives?

Si.

2. ¿Si es afirmativa la pregunta anterior, de qué forma consideras se puede resolver el problema de la falta de seguridad?

a) Más policía.

b) Más videocámaras.

c) Más iluminación.

3. ¿En qué calles de tu localidad consideras es necesaria mayor iluminación?

Al fondo del fraccionamiento

4. ¿Qué opina de las luminarias eólico-solares? (Se le muestra al entrevistado una serie de fotos).

Lucen padre, sin embargo, puede que algún maleante se las robe, estaría bien siempre y cuando generen la energía de forma gratuita.

5. ¿Qué opina de este modelo? (Se muestra la foto del prototipo)

Luce bien.

6. ¿Cuánto estima su costo?

Entre 40,000 y 80,000 pesos.

7. ¿De las siguientes tecnologías para generar electricidad en su hogar cual preferiría?

1º Solar. porque en mi casa siempre llega el sol

PARTICIPANTE 4.

Nombre: Cristina Llano.

Edad: 24 años.

1. ¿Consideras que hay algún problema de seguridad en el lugar dónde vives?

Si

2. ¿Si es afirmativa la pregunta anterior, de qué forma consideras se puede resolver el problema de la falta de seguridad?

a) Más policía.

b) Más video cámaras

3. ¿En qué calles de tu localidad consideras es necesaria mayor iluminación?

Por avenida Oriente.

4. ¿Qué opina de las luminarias eólico-solares? (Se le muestra al entrevistado una serie de fotos).

Son buenas ya que es menor el gasto de consumo eléctrico y por lo tanto se genera un ahorro.

5. ¿Qué opina de este modelo? (Se muestra la foto del prototipo)

Esta bien.

6. ¿Cuánto estima su costo?

En 5,000 pesos.

7. ¿De las siguientes tecnologías para generar electricidad en su hogar cual preferiría?

1° Solar.

2° Eólica.

3° Convencional. ya que genera contaminación.

PARTICIPANTE 5.

Nombre: Roberto Torres.

Edad: 44 años.

1. ¿Consideras que hay algún problema de seguridad en el lugar dónde vives?

Si

2. ¿Si es afirmativa la pregunta anterior, de qué forma consideras se puede resolver el problema de la falta de seguridad?

a) Más luminarias

b) Más video cámaras

3. ¿En qué calles de tu localidad consideras es necesaria mayor iluminación?

En la avenida principal.

4. ¿Qué opina de las luminarias eólico-solares? (Se le muestra al entrevistado una serie de fotos).

Son buenas y se puede ahorrar dinero.

5. ¿Qué opina de este modelo? (Se muestra la foto del prototipo)

Están bien.

6. ¿Cuánto estima su costo?

En 5,000 pesos.

7. ¿De las siguientes tecnologías para generar electricidad en su hogar cual preferiría?

1° Eólica.

2° Solar.

3° Convencional.

□

□

□ **O MY** □ □

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

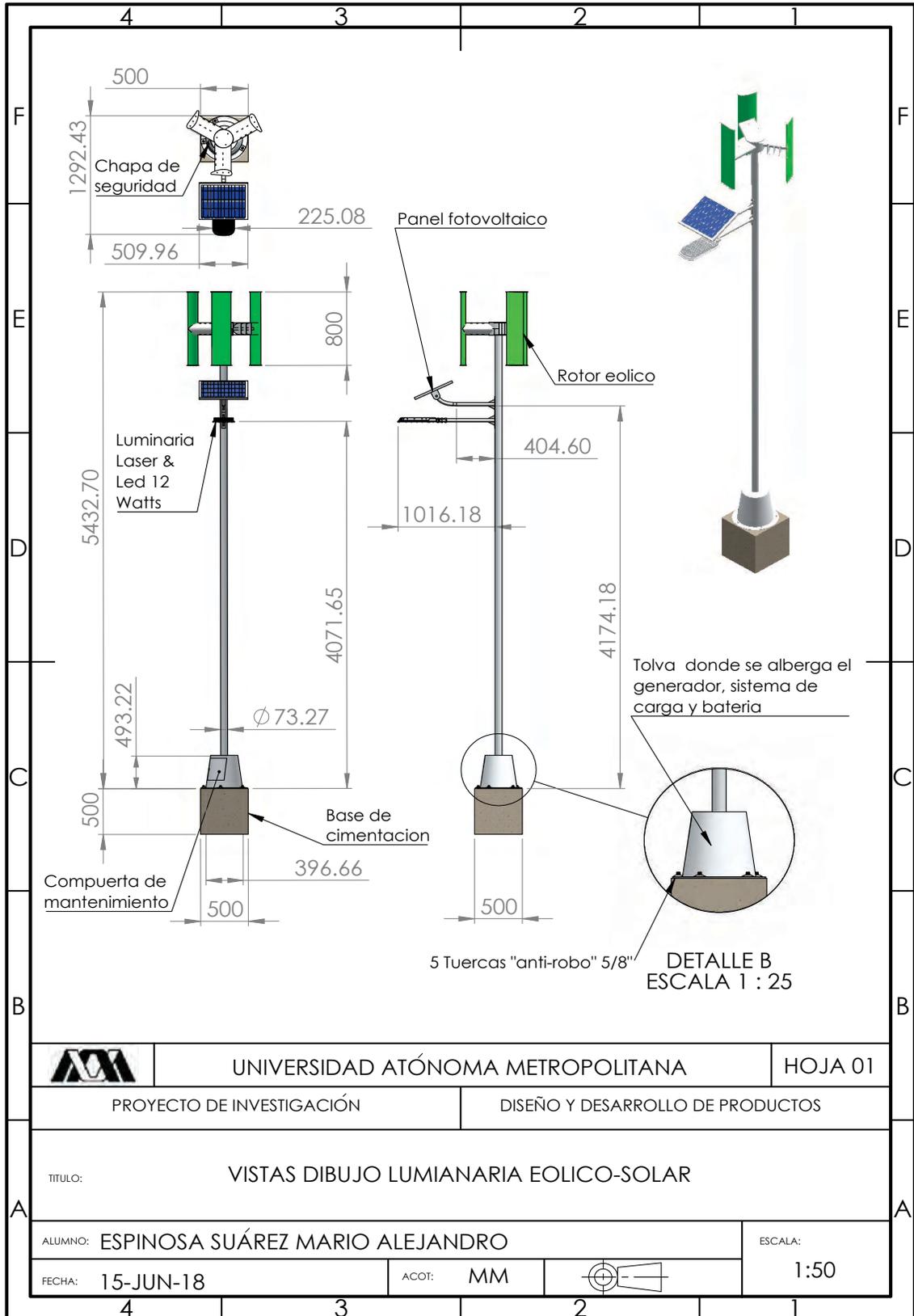
□

□

□

□

□



UNIVERSIDAD ATÓNOMA METROPOLITANA

HOJA 01

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS

TITULO:

VISTAS DIBUJO LUMIANARIA EOLICO-SOLAR

ALUMNO: ESPINOSA SUÁREZ MARIO ALEJANDRO

ESCALA:

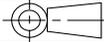
FECHA: 15-JUN-18

ACOT: MM

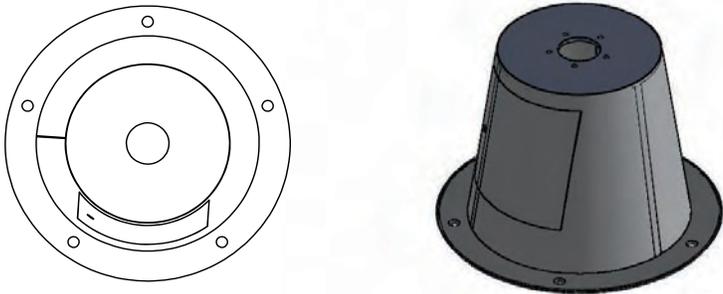
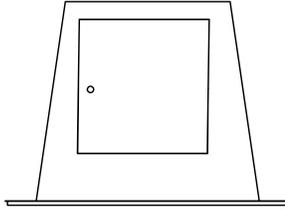
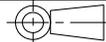


1:50

OMY

	4	3	2	1	
F					F
E					E
D					D
C					C
B					B
A					A
	UNIVERSIDAD ATONOMA METROPOLITANA		HOJA 02		
	PROYECTO DE INVESTIGACION		DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS		
	TITULO: VISTAS DE ASPA				
	ALUMNO: ESPINOSA SUAREZ MARIO ALEJANDRO		ESCALA: 1:50		
	FECHA: 15-JUN-18	ACOT: MM			
	4	3	2	1	

□ O MY □ □ □

	4	3	2	1	
F					F
E					E
D					D
C					C
B					B
A					A
UNIVERSIDAD ATONOMA METROPOLITANA		HOJA 03			
PROYECTO DE INVESTIGACION		DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS			
TITULO: VISTAS BASE LUMINARIA EOLICO-SOLAR					
ALUMNO: ESPINOSA SUAREZ MARIO ALEJANDRO			ESCALA: 1:50		
FECHA: 15-JUN-18	ACOT: MM				
4	3	2	1		

□ □ □

5.9. Currículum vitae.

Ing. Espinosa Suárez Mario Alejandro

Ciudad de México.

alejandro.espinosa.suarez@gmail.com

Perfil

Ingeniero Mecánico interesado en la optimización y aplicación de la energía eólica y solar en proyectos de diseño de partes, mantenimiento y operación para la industria eléctrica.

Experiencia

Técnico instalador, Climatik, empresa de medición de viento, CDMX, 2014.

Diseñador de partes eléctricas, UNISTMO, Oaxaca, 2013-2014

Diseñador de productos - profesionista independiente, SPAY, CDMX., 2011-2013

Mantenimiento a aerogeneradores, Comisión Federal de Electricidad (CFE), Oaxaca, 2010.

Coordinador logístico y producción de señalética, sector visual, CDMX., 2008.

Formación Académica

2015. Maestría en Diseño y Desarrollo de Productos, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Ciudad de México. Desarrollando como tema de tesis: "Luminaria eólica-solar".

2015. Curso de Máquinas- herramienta en el CECATI #1

2012. Diplomado "Instalación de mini aerogeneradores".

2004. Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Universidad Autónoma Metropolitana, Distrito Federal, especialidad en proyecto Mecánico. Con tema de tesis: "Diseño experimental de un aerogenerador de eje vertical con perfil de geometría variable".

2002. Certificado bachillerato de Técnico en procesos industriales, obtenido por el CECyT #11 del Instituto Politécnico Nacional.

Idiomas

Ingles 75%