

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
(UTB)

DISEÑO DE CELDAS EÓLICAS Y CREACIÓN DE DOCUMENTO GUÍA DE
MONTAJE PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA LIMPIA EN LA CIUDAD DE
CARTAGENA DE INDIAS.

CESAR AUGUSTO MESTRE ROBLES
JOSÉ MANUEL SALVADOR RAMOS GUARDO
MITCHEL MONTES IMBETT

PROYECTO INTEGRADOR PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
APROBAR EL MINOR EN GESTIÓN DE PROYECTOS.

CARTAGENA DE INDIAS, COLOMBIA

JUNIO DE 2010

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
(UTB)

Este proyecto Integrador fue aprobado por la Universidad como Requisito parcial
para aprobar el Minor en Gestión de Proyectos.

Fabián Alfonso Gazabón Arrieta
DIRECTOR

Cesar Augusto Mestre Robles
José Manuel Salvador Ramos Guardo
Mitchel Montes Imbett
ESTUDIANTES

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO	x
1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Antecedentes	12
1.2 Problemática	14
1.3 Justificación	14
2. MARCO TEÓRICO	15
2.1 Marco Referencial	15
2.2 Teoría de la Temática a Estudiar	16
3. MARCO METODOLÓGICO	20
3.1 Fuentes de Información	20
3.2 Métodos de investigación.....	21
4. DESARROLLO	22
4.1 CONTROL DOCUMENTAL	22
4.2 GESTIÓN DE LA INTEGRACIÓN	23
4.2.1 Acta de constitución del proyecto.....	24
4.2.2 Enunciado del alcance del Proyecto Preliminar	27
4.2.2.1 Propósito del Proyecto y Justificación.....	27
4.2.2.2. Descripción del Proyecto	28
4.2.2.3. Enfoque del proyecto	28
4.2.2.4. Plan de Gestión del Proyecto.....	29
4.3. GESTIÓN DEL ALCANCE	30
4.3.1 Definiciones.....	31
4.3.2 Declaración del Alcance del Proyecto.....	31
4.3.3 Estructura WBS del proyecto (EDT).....	315
4.3.4 Diccionario de la WBS	39
4.3.5 Plan de Gestión del Alcance	43
4.4 GESTIÓN DEL TIEMPO	43
4.4.1 Establecimiento de la Secuencia de las Actividades.....	44
4.4.1.1 Lista de Actividades	44
4.4.1.2 Lista de Hitos	45

4.4.1.3 Determinación de Dependencias	46
4.4.1.4 Método de Diagramación de Actividades	48
4.4.2 Estimación de Recursos de las Actividades.....	50
4.4.3 Estimación de la Duración de las Actividades.....	51
4.4.4 Cronograma detallado del proyecto	53
4.4.5 Plan de Gestión del Tiempo.....	56
4.5 GESTIÓN DE LOS COSTOS	57
4.5.1 Definiciones.....	57
4.5.2 Estimación de Costos	58
4.5.2.1 Estimado de los Costos	59
4.5.3 Preparación del Presupuesto de Costos.....	60
4.5.4 Plan de Gestión de los Costos	64
4.6 GESTIÓN DE LA CALIDAD	64
4.6.1 Definiciones Básicas	65
4.6.2 Planificación de la Calidad	66
4.6.2.1 Sistema de la Gestión de la Calidad	67
4.6.3 Aseguramiento de la calidad.....	68
4.6.4 Control de Calidad	69
4.6.5 Plan de Gestión de la Calidad.....	71
4.7 GESTIÓN DEL RECURSO HUMANO	72
4.7.1 Definiciones.....	72
4.7.2 Planificación de los Recursos Humanos	72
4.7.2.1 Herramientas para la Planificación del Recurso Humano	73
4.7.2.2 Plan de Gestión de Personal.....	74
4.7.3 Herramientas para Adquirir el Equipo del Proyecto	75
4.7.4 Herramientas para Desarrollar el Equipo del Proyecto	76
4.7.5 Plan de Gestión de Recurso Humano.....	76
4.8 GESTIÓN DE LAS COMUNICACIONES	77
4.8.1 Definiciones.....	77
4.8.2 Planificación de las Comunicaciones	77
4.8.2.1 Identificación de los Interesados	78

4.8.3 Herramientas para la planeación de las Comunicaciones	79
4.8.3.1 Métodos de Comunicación.....	79
4.8.4 Distribución de la Información	81
4.8.4.1 Herramienta para la Distribución de la información.....	82
4.8.5 Plan de Gestión de las Comunicaciones.....	83
4.9 GESTIÓN DE LOS RIESGOS	84
4.9.1 Definiciones.....	84
4.9.2 Herramientas para la Planificación de la Gestión de Riesgos.....	84
4.9.3 Identificación de riesgos.....	85
4.9.4 Análisis Cualitativo de los Riesgos.....	86
4.9.5 Análisis Cuantitativo de Riesgos	88
4.9.6 Plan de Respuesta a Riesgo.....	91
4.9.9 Plan de gestión de riesgos	91
4.10 GESTIÓN DE LAS ADQUISICIONES	92
4.10.1 Definiciones.....	92
4.10.2 Planificar las Compras y Adquisiciones	92
4.10.3 Planificar la Contratación	95
4.10.4 Selección de Vendedores	95
4.10.5 Plan de gestión de las adquisiciones	96
5. EJECUCION DEL PROYECTO	96
5.1. Generalidades de las Celdas Eólicas.....	92
5.2. Criterios de Selección de Celdas Eólicas.....	92
CONCLUSIONES	96
RECOMENDACIONES	96
ANEXOS	117

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de Celda eólica.....	17
Figura 2. Mapa Eólico de Colombia.....	19
Figura 3. WBS del Diseño y Documento Guía de Celdas Eólicas.....	38
Figura 4. Secuencia de actividades del Proyecto.....	47
Figura 5. Diagrama de Red del Proyecto.....	49
Figura 6. Cronograma de Actividades.....	54
Figura 7. Estructura de desglose de la Organización.....	74
Figura 8. Reuniones Programadas para la Comunicación del Proyecto.....	81
Figura 9. RBS, Estructura de Desglose de Riesgos.....	86
Figura 10. Esquema Básico de un Aerogenerador.....	100
Figura 11. Reparto de energía Eólica a nivel mundial.....	102
Figura 12: Producción de Energía Primaria en Colombia.....	104
Figura 13. Producción de energía eólica en Colombia.....	107

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cuadro de Control Documental.....	23
Cuadro 2. Acta de Constitución del Proyecto.....	25
Cuadro 3. Declaración del Alcance del Proyecto.....	33
Cuadro 4. Lista de Actividades del Proyecto.....	36
Cuadro 5. WBS Diccionario 1.1.9.....	39
Cuadro 6. WBS Diccionario 1.1.11.1.3.6.....	40
Cuadro 7. WBS Diccionario 1.1.11.1.4.7.....	40
Cuadro 8. WBS Diccionario 1.1.11.1.5.4.....	41
Cuadro 9. WBS Diccionario 1.1.11.1.6.4.....	41
Cuadro 10. WBS Diccionario 1.1.11.1.7.5.....	42
Cuadro 11. WBS Diccionario 1.1.11.2.4.....	42
Cuadro 12. Actividades del Cronograma.....	45
Cuadro 13. Listado de Hitos del Proyecto.....	46
Cuadro 14. Estimación de Recursos.....	51
Cuadro 15. Estimación de Duración de las Actividades.....	52
Cuadro 16. Estimación de Costos.....	59
Cuadro 17. Asignación de Recursos.....	61
Cuadro 18. Presupuesto de Costos.....	63
Cuadro 19. Métricas de Calidad.....	66
Cuadro 20. Plan de Aseguramiento de la Calidad.....	68
Cuadro 21. Control de la Calidad.....	69
Cuadro 22. Plan de Control de la Calidad.....	70
Cuadro 23. Probabilidad de Ocurrencia de los Riesgos del Proyecto.....	87
Cuadro 24. Impacto de Ocurrencia de los Riesgos del Proyecto.....	87
Cuadro 25. Frecuencia de Ocurrencia de los Riesgos del Proyecto.....	87
Cuadro 26. Cuantificación de las probabilidades, impacto y frecuencia de ocurrencia.....	88
Cuadro 27. Puntaje de Probabilidad de Ocurrencia de los Riesgos del Proyecto.....	89

Cuadro 28. Puntaje del Impacto de Ocurrencia de los Riesgos del Proyecto....	89
Cuadro 29. Identificación, Probabilidad, Impacto y Frecuencia de los Riesgos..	90
Cuadro 30. SOW de los recursos del proyecto.....	93
Cuadro 31. Costo de Generación de Energía en Colombia.....	105

ÍNDICE DE ABREVIACIONES Y DEFINICIONES

UTB: Universidad Tecnológica de Bolívar.

PMI: Siglas en Inglés de *Project Management Institute*.

PMBOK: Siglas en Inglés de Project Management Book of Knowledge.

EPM: Siglas de Empresas Públicas de Medellín

EDT o WBS: Estructura de Desglose del Trabajo

PDM: Siglas en Inglés de *Precedence Diagramming Method* ó Metodo de diagramación por precedencias.

AON: Siglas en ingles de *Activity on Node*

OBS: Siglas en ingles de *Organization Breakdown Structure*

EPA: Establecimiento Público Ambiental

RBS: Siglas en ingles de *Risk Breakdown Structure*

SOW: Siglas en ingles de *Statement of Work*

RESUMEN EJECUTIVO

Las celdas eólicas o aerogeneradores han sido usados desde tiempos antiguos. Los datos más antiguos de artefactos que aprovechaban el viento para otro tipo de actividades (molienda de granos) aparecen en Persia, alrededor de los años 200 antes de Cristo. Se cree que en el siglo XIII esas máquinas fueron introducidas en Europa por quienes retornaban de las cruzadas. Estos primeros molinos eran muy rudimentarios, basando su diseño en la rotación de un eje colocado en forma vertical. Los holandeses modificaron esa tecnología y a partir del año 1.350 comenzaron a utilizarse máquinas de eje horizontal y de cuatro palas, muy similares en aspecto a los que se acostumbra ver hoy en día en los típicos paisajes del mundo donde han sido implementadas.

Un parque de celdas eólicas es una instalación que tiene la finalidad de generar energía eléctrica a partir de la energía del viento, también llamada energía eólica. La extracción y conservación de energía eólica a energía eléctrica se realiza de manera independiente en cada aerogenerador o celda eólica. Aunque el hecho de que se trate de una energía renovable supone una gran ventaja, pero presenta por el contrario el inconveniente de la gran variabilidad del viento, dicha variabilidad influye negativamente ya que no se puede contar siempre con esta fuente de energía ni tampoco se pueden hacer predicciones precisas¹.

Este proyecto es el resultado de la necesidad de utilizar fuentes alternas de energía en Colombia, que sean amigables con el medio ambiente para evitar la degradación del mismo, debido al uso excesivo de carbón y petróleo para generar la energía eléctrica consumida a diario en los hogares e industrias. También nace como una oportunidad para aprovechar los recursos naturales con los que ha sido dotada la ciudad, en este caso, el viento, ya que este es abundante dada la cercanía de la ciudad de Cartagena al Mar Caribe, donde el viento sopla constantemente (Velocidades de 18 Km/h o más)².

El objetivo que se busca con este proyecto es aplicar la metodología del PMI (*Project Management Institute*), la cual se enfoca en definir, formular y delimitar un proyecto en componentes, de tal manera que su ejecución pueda realizarse sistemáticamente, basados en los grupos de procesos que a su vez se distribuyen en nueve áreas de conocimiento.

¹Secretaría de Energía de Argentina. **Energías Renovables 2008 - Energía Eólica**. Argentina: 2008. Pág. 5. Disponible en <http://www.argentina.ar/advf/documentos/491200ac76e0c3.00845010.pdf> . Consultado el 12 de Mayo de 2009.

² Climatología de los Principales Puertos del Caribe Colombiano. Disponible en http://www.cioh.org.co/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=841&Itemid= . Consultado el 22 de Mayo de 2010.

El aporte de este proyecto es promover el desarrollo de la costa Caribe del país en la zona de Cartagena de Indias, buscando nuevas formas de adquirir energía limpia y menos costosa, aprovechando los recursos naturales de la región, buscando siempre el beneficio de la comunidad cartagenera. Por otra parte, mediante el desarrollo de los diseños y documento guía para el montaje de las celdas eólicas en Cartagena de Indias, se busca trazar las pautas a seguir para cualquier inversionista que desee ejecutar este proyecto a gran escala en la región, basados en los entregables de este proceso investigativo.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La gestión de proyectos juega un papel muy importante en la vida cotidiana, ya que por medio de ésta se puede planear, ejecutar y verificar todas las actividades, que por decirlo así, se realizan diariamente. En la gestión de proyectos intervienen nueve áreas del conocimiento, las cuales serán tratadas durante el desarrollo de la investigación. Por medio de estas áreas se desglosarán cada una de las actividades y tareas concernientes a la gestión del proyecto, que permitirán al grupo de investigación, trabajar de acuerdo a la metodología del PMI.

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto de la mejor manera posible, es necesario establecer, delimitar y tener en cuenta el alcance del proyecto, ya que lo que no se incluya en éste, no será tenido en cuenta durante el desarrollo del mismo. Por esto, se buscará impulsar el desarrollo de estas nuevas tecnologías de obtención de energía utilizando metodologías de gestión de proyectos de acuerdo al PMI (Project Management Institute), plasmadas en el PMBOK (Project Management Book Of Knowledge). Dentro de la metodología antes mencionada, se encuentran los procesos de iniciación, planificación, ejecución, seguimiento y control y cierre, pero durante el desarrollo de este trabajo, no se tendrán en cuenta los procesos de ejecución y seguimiento y control, puesto que se definió dentro de las directrices del Minor en Gestión de Proyectos 2009 esta condición.

Las celdas eólicas, más comúnmente conocidas como molinos de viento, son sistemas destinados a la generación de energía eléctrica, con el propósito de brindar nuevas alternativas para la producción y obtención de energía limpia y renovable. El uso de las celdas eólicas, en sus inicios, sólo se limitaba a la generación de la energía mecánica para el procesado de papel, molienda de granos y bombeo de agua en la edad antigua y media en Europa. Su origen y

evolución se remontan a Europa en los años previos a la era del cristianismo (200 A.C), cuando se construyeron los primeros molinos de viento que aprovechaban la energía cinética de las corrientes de aire para transformarla en energía mecánica, para así poder abastecer a las industrias emergentes en la época, tales como la industria textil, maderera y metalúrgica.

El uso de los molinos de viento fue ampliado a la generación de energía eléctrica. Los primeros molinos destinados para la obtención de electricidad fueron equipados con generadores eléctricos, los cuales aparecieron por primera vez a principios del siglo XX, en el año de 1900. El desarrollo de estos dispositivos, en lo que a modelos y diseños respecta, tuvo un gran crecimiento, a pesar de que la energía eólica fue escasamente aprovechada para la primera mitad de siglo. Los molinos diseñados, por limitaciones tecnológicas de la época, tenían un pobre desempeño y poca efectividad a la hora de generar la electricidad (alrededor de tres (3) Kilowatts (KW)).

Dichos modelos y avances son las bases de las tecnologías recientes, ya que los principios, metodologías y diseños son válidos hasta el día de hoy para la construcción de celdas eólicas, que ahora, pueden llegar a generar alrededor de uno punto veinticinco (1,25) Megawatts (MW), brindando así una solución alternativa a la obtención de energía cada vez más escasa en nuestro planeta³.

El producto final del proyecto es la energía eléctrica, la cual existe en la mayoría de los países del planeta, lo que lo hace un producto de consumo masivo. Ha sido ampliamente desarrollada en países como Europa, donde en los últimos años se ha adelantado ampliamente en materia de implementación de energía eólica.

En Colombia actualmente existe un proyecto de transformación de energía eólica en eléctrica en La Guajira que se encuentra en periodo de prueba, conocido como

³Secretaría de Energía de Argentina. **Energías Renovables 2008 - Energía Eólica**. Argentina: 2008. Pág. 6. Disponible en <http://www.argentina.ar/advf/documentos/491200ac76e0c3.00845010.pdf> . Consultado el 12 de Mayo de 2009.

*Parque Eólico Jepírachi, promovido por EPM (Empresas Públicas de Medellín)*⁴. Se tomará como base el proyecto iniciado en dicho lugar para desarrollar el estudio actual propuesto.

1.2 Problemática

La necesidad de buscar nuevas formas de obtener energía limpia y menos costosa, debe realizarse aprovechando los recursos RENOVABLES naturales de Cartagena de Indias, buscando siempre el beneficio de la comunidad, y que dicha energía permita disminuir notablemente la contaminación ambiental producida por la combustión de petróleo y carbón a la hora de generar energía eléctrica.

Desde el punto de vista del sector industrial, se hace necesaria la disponibilidad de una energía limpia y menos costosa de obtener y eso hace de la energía eólica una candidata versátil para abastecer los requerimientos energéticos del sector en expansión, así como también se cumple la planeación estratégica y las metas en cuanto a la parte ambiental se refiere, ya que las grandes compañías se basan en el sistema de gestión ambiental ISO 14001, el cual busca proponer actividades y métodos que promuevan la conservación del medio ambiente. Las industrias en Mamonal, las obras de ampliación de las carreteras de la ciudad, la ampliación de las zonas francas (La Candelaria) son un indicio del crecimiento de la comunidad Cartagenera, lo cual demandará una mayor cantidad de energía, por lo tanto, las celdas eólicas son propuestas como una forma de mitigar la carga que lleva el medio ambiente.

1.3 Justificación

La energía producida por fuentes eólicas es una energía proveniente del viento, el cual oscila entre 5 y 10 nudos (9,26 a 18,52 Km/ h) de intensidad y en ocasiones sobrepasan estos valores alcanzando hasta los 30 nudos (55,56 Km/h) de intensidad, haciendo este proyecto adaptable a la ciudad de Cartagena. Debido a

⁴Rodríguez, Luis. **La energía eólica como posibilidad de aprovechamiento**. Colombia: 2006. Pág. 1. Disponible en <http://www.eppm.com/eprm/institucional/general/jepirachi1.pdf> . Consultado el 3 Noviembre de 2009.

que las celdas eólicas no necesitan abastecerse de combustibles fósiles (petróleo, gasolina, gas natural, carbón, entre otros), no emiten gases de efecto invernadero a la atmósfera, lo que hace de estos dispositivos una fuente alterna y limpia de obtener energía eléctrica.

Las razones presentadas anteriormente en la Problemática son lo suficientemente válidas para justificar la planeación y ejecución de este proyecto.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Referencial

La selección del proyecto se dio por medio de una lluvia de ideas (Brainstorming), entre tres estudiantes del Minor en Gestión de Proyectos 2009, los cuales aportaron tres ideas donde se pueden mencionar la re-construcción de la carretera Troncal de Occidente Km 1 vía Turbaco y el rediseño de las instalaciones de la Secretaría de Hacienda de la Alcaldía Mayor de Cartagena y la seleccionada para el proyecto.

Para este proyecto es muy importante el lugar de desarrollo, el cual será ejecutado en la ciudad de Cartagena de Indias, Colombia. Los factores que permiten que este proyecto sea exitoso en la capital del departamento de Bolívar son:

- Cercanía al mar Caribe, donde hay disponibilidad de viento, que es el principal recurso para la puesta en marcha del proyecto.
- Amplitud de los terrenos para poder distribuir las celdas eólicas, de tal manera que se aumente su rendimiento y aporte energético.
- Iniciativa por parte del Team del proyecto para aportar por medio de este documento, una manera de mitigar los impactos de las diversas problemáticas en aspectos ambientales de la región.

Dicho proyecto se culminará mediante la ejecución de dos etapas, la primera hace referencia a la planeación de la gestión de las nueve áreas del conocimiento requeridas para ejecutar este proyecto de acuerdo a la metodología del PMI, mediante la consulta de libros, revistas y documentos relacionados con el tema, y la segunda etapa hace mención a la creación del diseño y su respectivo documento guía para el montaje del proyecto en la ciudad.

Este proyecto genera un alto impacto a la sociedad, ya que busca aportar soluciones a la obtención de energía de la ciudad de Cartagena, mediante un proceso más limpio, que permita disminuir el gran daño ambiental que se deriva de la actividad humana para generar su energía, por medio de la quema de combustibles. Además, se pretende que si el proyecto es patrocinado por un inversionista, genere ingresos para su mantenimiento aún después de que haya concluido su ejecución.

2.2 Teoría de la Temática a Estudiar

Las organizaciones de hoy en día que elaboran energía eléctrica son empresas electrificadoras, que cuentan con los recursos necesarios para transformar energía eólica en eléctrica, independientemente del país en el cual se esté llevando a cabo este proceso, como fue mencionado anteriormente, en Colombia, es desarrollada por Empresas Públicas de Medellín.

Las Celdas Eólicas son equipos que están especialmente diseñados para producir electricidad. En la actualidad se fabrican máquinas comerciales de muy variados tamaños, desde muy bajas potencias (100 a 150 W) hasta 700 y 800 Kw y ya están superando la etapa experimental modelos de hasta 1.500 Kw de potencia. A diferencia de los molinos, estos equipos se caracterizan por tener pocas palas porque de esta manera alcanzan a desarrollar una mayor ciencia de transformación de la energía primaria contenida en el viento. Si bien existen algunos de una sola pala, los de dos o tres son los más utilizados. Sintéticamente un aerogenerador está conformado por dos elementos principales: un rotor

compuesto por un eje y la o las palas que es accionado por el viento, y un generador que se mueve por arrastre del rotor. Los rotores de los aerogeneradores de potencia mediana en adelante (más de 20 Kw.) no desarrollan gran número de revoluciones, considerándose como normal el orden de 60 a 70 revoluciones por minuto.

En equipos de mayor tamaño y muy especialmente en los grandes (de más de 100 Kw), la orientación del equipo se controla electrónicamente a través de un sistema computarizado. El generador, así como la caja de multiplicación, están ubicados en el cuerpo del equipo, que se encuentra en la parte superior de la torre. Este trae aparejado por un lado la necesidad de un importante cableado para conducir la corriente generada y las señales enviadas al sistema de control y por otro el inconveniente que cuando se produce alguna avería o se efectúa un control de rutina, es necesario subir a la torre⁵.

A continuación se muestra la Figura 1, que contiene las partes en las que está dividida una celda eólica o aerogenerador:

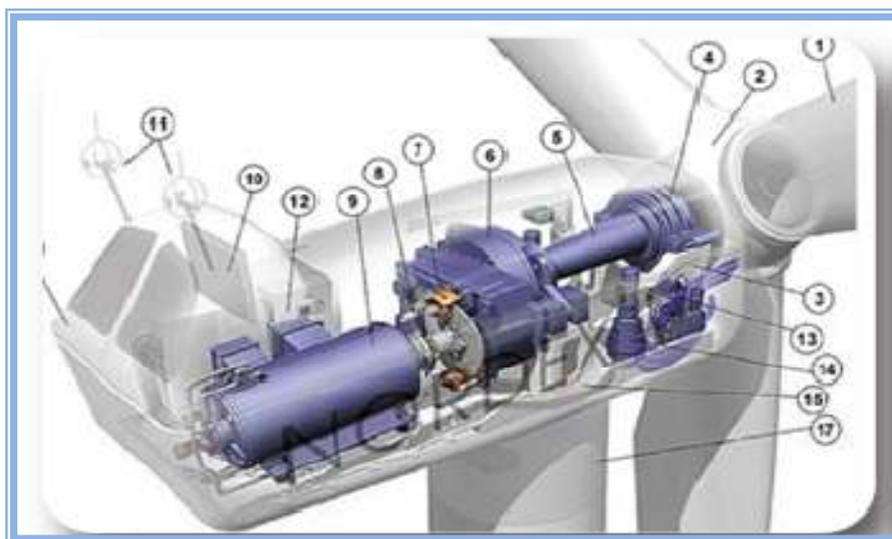


Figura 1. Componentes de Celda eólica⁶

⁵Secretaría de Energía de Argentina. **Energías Renovables 2008 - Energía Eólica**. Argentina: 2008. Pág. 8. Disponible en <http://www.argentina.ar/advf/documentos/491200ac76e0c3.00845010.pdf> . Consultado el 12 de Mayo de 2009.

⁶Rodríguez, Luis. **La energía eólica como posibilidad de aprovechamiento**. Colombia: 2006. Pág. 2. Disponible en <http://www.eppm.com/eprm/institucional/general/jepriachi1.pdf> . Consultado el 3 Noviembre de 2009.

1. Álabes o Aspas del rotor.
2. Manzana.
3. Estructura de Soporte.
4. Cojinete del Rotor.
5. Eje del Rotor
6. Caja de Engranajes.
7. Disco de Frenos.
8. Acople del Generador.
9. Generador 1300 Kw
10. Radiador de Enfriamiento.
11. Sistema de Dirección de Viento.
12. Sistema de Control.
13. Sistema Hidráulico.
14. Comando del aerogenerador
15. Cojinete de Rotación
16. Cubierta del Aerogenerador.
17. Torre

*Las áreas de aplicación al cual va dirigido el desarrollo de este proyecto, de acuerdo a la **Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU)**, son: Suministro de electricidad, gas y agua. Generación, captación, transmisión y distribución de energía eléctrica⁷. Además del Medio Ambiente y Entes Gubernamentales, que son los principales involucrados y beneficiados con la creación de un parque eólico en la ciudad.*

En Cartagena de Indias, durante la época seca, que inicia desde el mes de diciembre hasta el mes de marzo, predomina el flujo de los vientos alisios del noreste, que se producen por el descenso del sistema de altas presiones de las azores, las cuales interactúan con la Zona de Convergencia Intertropical, los vientos oscilan entre 5 y 10 nudos (9,26 a 18,52 Km/ h) de intensidad y en ocasiones sobrepasan estos valores alcanzando hasta los 30 nudos (55,56 Km/h) de intensidad.

La época húmeda sobre la ciudad de Cartagena inicia cada año desde el mes de agosto, extendiéndose hasta el mes de noviembre y primeros días del mes de diciembre. Durante este lapso de tiempo las condiciones atmosféricas se ven

⁷DANE (2006). **Clasificación Industrial Internacional Uniforme**. Edición 3.1. Colombia, Bogotá D.C. Pág.29.

influenciadas por la disminución de los vientos de manera considerable oscilando entre 02 y 05 nudos (3,7 a 9,26 Km/h) de intensidad y en raras ocasiones sobrepasando los 10 nudos (18,52 Km/h)⁸.

La figura 2 muestra el mapa de viento para Colombia, con la respectiva clasificación de las intensidades de viento dadas en metros por segundo para todo el país.

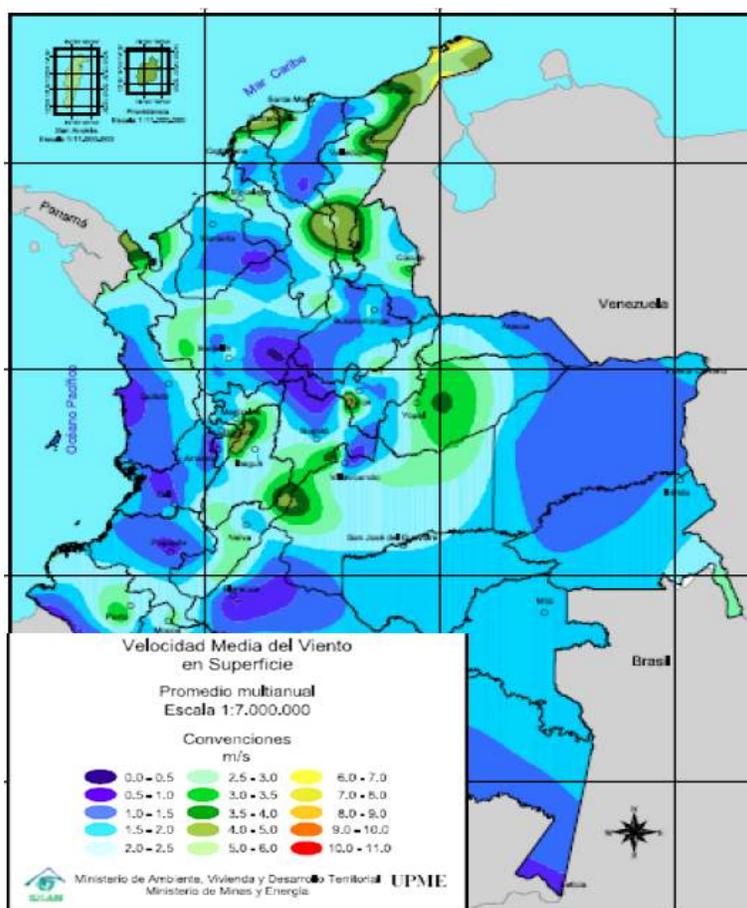


Figura 2. Mapa Eólico de Colombia⁹

Se incluirá el desarrollo y planeación de todas las áreas de conocimiento que intervienen en el proceso de implementación del PMI en este documento, como

⁸ Climatología de los Principales Puertos del Caribe Colombiano. Disponible en http://www.cioh.org.co/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=841&Itemid= . Consultado el 22 de Mayo de 2010.

⁹ Velocidad Media del Viento en Superficie. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Consultado el 22 de Mayo de 2010.

son: Gestión de Alcance, Tiempo, Costo, Adquisiciones, Calidad, Comunicaciones, Riesgos, RR.HH e Integración.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Fuentes de Información

Este proyecto de investigación se desarrollará seleccionando las diversas fuentes de información disponible, directamente relacionada con el tema de celdas eólicas y Gestión de Proyectos.

Debido a que este proyecto está fundamentado en una Investigación documental el Team del proyecto recurrirá tanto a medios digitales como físicos. La ejecución de este trabajo presentará fuentes de información primaria, pues se llevarán a cabo entrevistas con expertos en el tema de Gestión de Proyectos y metodologías PMI, quienes guiarán al grupo de investigación mientras se desarrollen los entregables del proyecto, así como también en los planes de Gestión de cada una de las áreas de conocimiento. También se realizaron consultas a personal calificado en temas referentes a Celdas Eólicas en el país.

También se tuvo acceso a fuentes de información secundarias como son: Revistas documentales para conocer los requerimientos de instalación, tiempos y materiales para la elaboración de celdas eólicas, libros digitales que permitan tener acceso a antecedentes e historia de los aerogeneradores, textos científicos relacionados con el tema, para conocer los resultados e impacto de proyectos que se hayan realizado en cualquier parte del mundo, e internet para consultar información referente a los fabricantes y precios de las celdas eólicas, apoyándose en la base de datos (J-Stor), proporcionada por la Universidad Tecnológica de Bolívar.

3.2 Métodos de investigación

El tipo de investigación aplicado a este documento es de Tipo Descriptivo.

Las investigaciones de tipo descriptivo constituyen el punto de partida de las líneas de investigación, su objetivo es determinar la situación de las variables involucradas en el estudio en un momento dado con relación a su presencia o ausencia, la frecuencia con que se presenta un fenómeno (incidencia o prevalencia), características de las personas, lugar y periodo donde ocurre. El investigador se limita a la observación de los hechos tal como ocurren con el objeto de describirlos, no busca explicar ni analizar las causas de esos hechos sino presentarlos. De esta manera las investigaciones descriptivas brindan las bases cognoscitivas para otros estudios descriptivos o explicativos pues se generan hipótesis susceptibles de comprobación¹⁰.

El método de investigación que se aplica en este proyecto será el método *Analítico-Sintético*, debido a que por medio de dicho método se pretende describir y desarrollar cada uno de los componentes de la gestión de proyectos bajo la metodología PMI, analizando cada Área de Conocimiento (Integración, Alcance, Tiempo, Costos, Calidad, Comunicaciones, Riesgos, Recursos Humanos y Adquisiciones) individualmente, para luego unificarlas y de esta manera consolidar el proyecto.

El Team del proyecto se apoyará también de métodos de observación y suficientes fuentes documentales que permitan conocer las características respecto a las Celdas Eólicas.

¹⁰ Gil, Maritza. **Tipos de Investigación**. Pág. 3. Disponible en <http://www.ucla.edu.ve/dmedicin/departamentos/medicinapreventivasocial/SEB/investigacion/tiposinvestigacion.pdf> Consultado el 13 Marzo de 2010.

4. DESARROLLO

4.1 Control Documental

El control documental es una herramienta que permite conocer y llevar el seguimiento de todas las modificaciones que se le han aplicado al proyecto en general, en éste se especificarán cuántos cambios se han realizado, fechas de modificación y observaciones para dar a conocer el motivo y descripción de dicho cambio.

La primera versión mencionada en el cuadro de control documental, contiene la propuesta inicial de cada una de las nueve áreas del conocimiento realizadas durante el desarrollo del Minor en Gestión de Proyectos 2009, donde los distintos tutores del Curso evaluaron y aprobaron el contenido del documento en sus respectivas especialidades. Entre los tutores se mencionan al Ingeniero Wilbert. J Nivia (PMP Consultant Senior), encargado de revisar las áreas de conocimiento de: Integración, Alcance, Tiempo y Costo. Por otro lado, el Ingeniero Javier Valbuena (Coordinador Seguridad IT), revisó las áreas de Gestión de: Calidad, Comunicaciones, Recurso Humano, Riesgos y Adquisiciones.

La segunda versión en el cuadro, hace referencia a la primera revisión realizada por el director del proyecto Msc. Fabián Gazabón Arrieta, la cual contiene la actualización de las nueve áreas del conocimiento, con las respectivas recomendaciones y ajustes propuestos por los tutores antes mencionados. A este documento se le incluyeron plantillas y cuadros que facilitan el desarrollo de cada uno de los planes de las respectivas áreas de conocimiento.

La tercera versión documenta los cambios realizados al alcance y objetivos del proyecto, recomendados por el Director. En este se estableció que para cada objetivo debe desarrollarse un entregable y se especificó el actual alcance del proyecto.

La última versión hace énfasis en el desarrollo del Trabajo Integrador (Monografía) y sus dos entregables principales (Diseño de Celdas Eólicas y Creación de Documento Guía para el Montaje), dirigido y revisado por Msc. Fabián Gazabón Arrieta.

El siguiente es el Cuadro 1, el cual contiene el control documental aplicado al proyecto:

Cuadro 1. Cuadro de Control Documental

Nombre del Proyecto: Diseño de celdas eólicas y creación de documento guía de Montaje para la generación de energía limpia en la ciudad de Cartagena de Indias.		
Preparado por: Cesar Augusto Mestre Robles José Manuel Salvador Ramos Guardo Mitchel Montes Imbett		
Historial de versiones		
Versión	Fecha (dd/mm/aaaa)	Comentarios
1.0	01/06/2009	Documento Preliminar que contiene la gestión de las nueve áreas del conocimiento del proyecto.
2.0	15/08/2009	Documento Revisado y Actualizado del desarrollo de las nueve áreas del conocimiento.
3.0	19/12/2009	Documento de Revisión y Ajuste para el Alcance y Objetivos del proyecto.
4.0	06/02/2010	Monografía "Diseño de celdas eólicas y creación de documento guía de montaje para la generación de energía limpia en la ciudad de Cartagena de Indias".

4.2 GESTIÓN DE LA INTEGRACIÓN

El Área de Conocimiento de Gestión de la Integración del Proyecto incluye los procesos y actividades necesarios para identificar, definir, combinar, unificar y coordinar los distintos procesos y actividades de dirección de proyectos dentro de los Grupos de Procesos de Dirección de Proyectos. En el contexto de la dirección de proyectos, la integración incluye características de unificación, consolidación, articulación y acciones de integración que son cruciales para concluir el proyecto

y, al mismo tiempo, cumplir satisfactoriamente con los requisitos de los clientes y otros interesados, y gestionar las expectativas¹¹.

4.2.1 Acta de constitución del proyecto

El acta se construye basada en una oportunidad de negocio, ya que la implementación de las Celdas Eólicas en la ciudad de Cartagena, implica que un inversionista a la hora de patrocinar el proyecto, espera recibir ganancias y/o beneficios, producto de su inversión.

Del mismo modo, es un proyecto que pretende disminuir la contaminación ambiental por parte de las empresas que producen energía arriesgando el bienestar del medio ambiente y por ende, el de la sociedad. Es por esto, que se considera que el proyecto se crea basado en una necesidad social.

Para la construcción del Acta de Constitución del Proyecto, se tuvieron en cuenta las áreas de aplicación al cual va dirigido el proyecto, enfocado principalmente a los sectores industriales y de servicios, sector energético y medio ambiente. Se delimitará el alcance del proyecto para definir de esta manera los dos entregables que corresponden. Se tendrá en consideración a todos los entes a los que intervienen en el desarrollo del proyecto, para conocer sus clientes potenciales.

Teniendo como base la anterior información, se consolidó la siguiente acta de proyecto en el Cuadro 2 mostrado a continuación:

¹¹ PMI (2004). **Guía del PMBOK**. 3ra Edición. EE.UU, Pennsylvania. Capítulo 4, Pág. 77.

Cuadro 2. Acta de Constitución del Proyecto.

Acta de Constitución de la Monografía del Minor en Gestión de Proyectos	
Información Principal y Autorización del Proyecto	
Fecha: 06-05-09	Nombre de Proyecto: Diseño de celdas eólicas y creación de documento guía de montaje para la generación de energía limpia en la ciudad de Cartagena de indias.
Áreas de conocimiento: Gestión de: Alcance, Tiempo, Costo, Adquisiciones, Calidad, Comunicaciones, Riesgos, RR.HH e Integración.	Área de aplicación: Suministro de electricidad, gas y agua. Generación, captación, transmisión y distribución de energía eléctrica.
Fecha de inicio del proyecto: 01 de Mayo de 2009	Fecha de finalización del proyecto: 13 de Julio de 2009
Objetivos del proyecto:	
<p>General : Diseñar celdas eólicas y crear Documento Guía de Montaje para la generación de energía limpia en la ciudad de Cartagena de Indias, con el propósito de promover el uso de fuentes alternas de energía en la ciudad y aprovechar los recursos naturales del sector dentro del ámbito de la gestión de proyectos usando la metodología del PMI.</p> <p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Formalizar la constitución del proyecto definiendo y coordinando las actividades y procesos necesarios para concluirlo. • Delimitar el alcance del proyecto, con el propósito de elaborar el diseño y Documento Guía para el Montaje de celdas eólicas ajustado a los requerimientos del proyecto. • Fijar el tiempo requerido para completar el diseño y guía de montaje con el fin de ajustar la entrega al plazo establecido. • Estimar los costos del diseño y guía de montaje de las celdas eólicas con el fin de ajustar los recursos financieros a los requerimientos de la ejecución del proyecto. • Fijar procesos de adquisición y compras para asegurar la disponibilidad de piezas, instrumentos e insumos para la elaboración del diseño y Documento Guía para el montaje de las celdas eólicas en Cartagena. • Definir estándares y requisitos aplicados a los entregables del proyecto, con el propósito de garantizar la calidad del mismo. • Establecer procesos de comunicación con el fin de realizar un eficaz y eficiente manejo de la información requerida. • Definir el plan de identificación y gestión de riesgos para evitar y/o prevenir la ocurrencia de eventos que representen un riesgo para el desarrollo satisfactorio del proyecto. • Establecer el Recurso Humano que conformará el Equipo del Proyecto, teniendo en cuenta los entregables y plan de gestión del proyecto, con el fin de seleccionar el personal idóneo para la ejecución del mismo. 	
Descripción del producto:	
Es un documento que permitirá realizar un diseño de celdas eólicas para la ciudad de Cartagena de Indias con su respectivo Documento Guía de montaje.	
Entregables:	
Consta de dos entregables:	

- Planos a escala de las partes (Torre, Rotor, Aspas, Generador eléctrico) de las celdas eólicas, mostrando medidas y acotaciones y un diseño general de un parque eólico.
- Documento Guía de montaje, el cual contiene el lineamiento y procedimientos a seguir para completar el ensamblado de las partes de una celda eólica.

Necesidad del proyecto:

Este proyecto surge como una necesidad de buscar fuentes alternas de energía en Colombia, que sean amigables con el medio ambiente para evitar la degradación del mismo por medio del uso de carbón y el petróleo para generar la energía eléctrica consumida a diario en los hogares. También nace como una oportunidad para aprovechar los recursos naturales con los que ha sido dotada la ciudad, en este caso, el viento, ya que este es abundante dada la cercanía de la ciudad de Cartagena al Mar, donde el viento oscila entre los 9,26 a 18,52 Km/ h, llegando a un máximo de 50 Km/ h.

Justificación:

La energía producida por fuentes eólicas es una energía proveniente del viento, el cual abunda en la ciudad de Cartagena, por la cercanía al Mar Caribe. Debido a que las celdas eólicas no necesitan abastecerse de combustibles fósiles, no emiten gases de efecto invernadero a la atmósfera, lo que hace de estos dispositivos una fuente alterna y limpia de obtener energía eléctrica.

Restricciones:

- Recursos tecnológicos, ya que en el país sólo se ha desarrollado un proyecto (Parque Eólico Jepírachi) concerniente al uso de la energía eólica, lo cual es vital durante la implementación del proyecto.
- Tiempo disponible para la entrega de diseños y Documento Guía de montaje.
- Permisos pertinentes por parte de las autoridades ambientales y legales involucradas en la construcción del proyecto a la hora de iniciar la fase de implementación.
- La mano de obra apta para llevar a cabo la implementación del proyecto es altamente tecnificada y escasa en el país, al ser tecnologías nuevas en el territorio nacional.
- El personal experimentado en el tema de celdas eólicas es escaso en la ciudad de origen del proyecto, por lo tanto, el intercambio de información se verá afectado.
- La herramienta informática idónea para la realización del diseño de las celdas eólicas.
- Personal para el manejo de los programas especializados en la realización de diseños.
- El capital disponible para la realización del proyecto (700.000 COP).

Factores de éxito:

- Es una tecnología limpia para la obtención de energía, la cual alcanzará buena acogida por las autoridades ambientales del país al momento de su implementación.
- Al ser una energía barata y de fácil acceso, podrá ser viable a la población interesada.
- Disponibilidad de personal idóneo con conocimientos prácticos y técnicos en el área de transformación de energía, al momento de iniciar la construcción del proyecto.
- El personal que aporta la información para la consolidación de este proyecto.
- Experiencia del Director del Proyecto.

Identificación de grupos de interés (stakeholders):

Cliente(s) directo (s):

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
 Autoridades Ambientales Locales (EPA, Cardique).
 Inversionistas y/o Sponsors del proyecto (Empresas Electrificadoras).

Clientes indirectos:	
Ciudadanos de la ciudad de Cartagena de Indias. Industrias radicadas en la ciudad de Cartagena.	
Presentado por:	Firma
Cesar Augusto Mestre Robles	
-----	-----
José Manuel Salvador Ramos Guardo	
-----	-----
Mitchel Montes Imbett	
Aprobado por: Fabián Alfonso Gazabón Arrieta	Firma

4.2.2 Enunciado del alcance del Proyecto Preliminar

Para el proyecto que se está desarrollando actualmente se requiere obtener toda la información solicitada por sus interesados, para establecer las especificaciones y requisitos que debe satisfacer el proyecto; una vez definidos se procede a consolidar la información para realizar la Declaración del Alcance del Proyecto.

4.2.2.1 Propósito del Proyecto y Justificación.

El propósito del proyecto es buscar nuevas formas de obtener energía limpia y menos costosa, aprovechando los recursos naturales del sector, buscando siempre el beneficio de la comunidad cartagenera y que dicha energía permita disminuir notablemente la contaminación ambiental producida por la combustión de petróleo y carbón a la hora de generar energía eléctrica.

La energía producida por fuentes eólicas es una energía proveniente del viento disponible en el sector por la cercanía a la costa Caribe. Debido a que las celdas no necesitan abastecerse de combustibles fósiles (petróleo, gasolina, gas natural, carbón, etc.), no emiten gases de efecto invernadero a la atmósfera, lo que hace de estos dispositivos una fuente alterna y limpia de obtener energía eléctrica, además, esta energía es menos costosa que las producidas tradicionalmente,

debido al incremento del precio de las materias primas para la generación de esta energía, ya sea el carbón y petróleo¹², mientras que la energía eólica tiene una fuente de viento inagotable por su naturaleza renovable.

4.2.2.2. Descripción del Proyecto

El proyecto consta de dos entregables que serán desarrollados teniendo en cuenta la información recopilada, logrando satisfacer y alcanzar los objetivos planteados al inicio del proyecto, dichos entregables son la realización del diseño de las celdas eólicas y su respectivo documento guía para su montaje.

- El primero, es un entregable que consta de planos de las partes que conforman las celdas eólicas: Torre, Rotor, Aspas y Generador, cada uno con sus respectivas medidas a escala. Adicionalmente se presentará el diseño de una celda ensamblada y un parque eólico, también con sus medidas a escala.
- El segundo entregable corresponde al documento guía, en el cual se incluyen cada uno de los procesos y procedimientos necesarios para llevar a cabo el montaje de la celda eólica. Dicho documento proporcionará información técnica respecto a las celdas eólicas.

4.2.2.3. Enfoque del proyecto

El enfoque del proyecto está orientado a la Productividad, Calidad y Competitividad, ya que por medio de estos tres elementos el proyecto busca satisfacer una necesidad u oportunidad de negocio. A continuación se muestran las razones del por qué el enfoque de este proyecto con respecto a estas tres áreas:

¹² Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica. Disponible en: www.acolgen.org.co . Consultado el 22 de Mayo de 2010.

- **Calidad:** Se pretende impulsar el uso de fuentes alternas de producción de energía que reduzcan al máximo la emisión de contaminantes a la atmósfera, disminuyendo el impacto ambiental de lo que genera el uso de combustibles fósiles para la obtención de energía eléctrica. La calidad del proyecto en la ciudad se verá reflejada en un ambiente más limpio, menos contaminado y con una sociedad comprometida con el medio ambiente.
- **Competitividad:** También se propone con la implementación de un sistema de celdas eólicas, generar competitividad a nivel regional y nacional en la obtención de energía por medio del viento. Además, el uso de nuevas tecnologías provenientes de países que han desarrollado este tipo de sistemas los cuales han sacado provecho de su implementación en cuanto a obtención de energía limpia, menos costosa y fácil de adquirir, aspectos que colocarían a la ciudad en un nivel más competitivo.
- **Productividad:** En cuanto a este aspecto, se podría mencionar la mejora que tendrían las empresas electrificadoras al momento de producir la energía eléctrica destinada a los hogares e industrias de la ciudad, la cual vendría de un recurso renovable, lo que para las empresas representaría menos costos en la producción.

4.2.2.4 Plan de gestión de la integración

Dentro del plan de gestión de la integración se precisaron aspectos a desarrollar, tales como: definir e identificar todas aquellas actividades que intervienen en el proyecto para que de la mejor manera posible, éstas se acoplen y se interrelacionen de acuerdo a las necesidades del proyecto.

La idea de cómo se va a realizar la gestión de la integración parte de las necesidades que surjan en el proyecto, de manera que éstas sean anticipadas con el fin de garantizar la disponibilidad de los elementos en el momento que se requieran.

La gestión de la integración debe ser realizada antes de poner en marcha el proyecto, debe realizarse con anticipación a fin de planear de manera general los procesos que ocurrirán durante el desarrollo del proyecto.

Las personas responsables de la gestión de la integración del proyecto, son el grupo que actualmente se encuentra trabajando en el mismo, conformado por el Director del Proyecto Fabián Gazabón Arrieta, tutores que sirvieron de apoyo con sus asesorías en el Minor en Gestión de Proyectos, el Ingeniero Eléctrico Wilder Quesada Martínez, quien aportará sus conocimientos técnicos para guiar al grupo durante el desarrollo del proyecto, la Arquitecto Sandra Hernández para la elaboración de los planos, y el grupo de trabajo conformado por Cesar Mestre Robles, José Ramos Guardo y Mitchel Montes Imbett.

4.3. GESTIÓN DEL ALCANCE

La Gestión del Alcance incluye los procesos necesarios para asegurarse que el proyecto incluya todo el trabajo requerido, y sólo el trabajo requerido, para completarlo satisfactoriamente. La gestión del alcance del proyecto se relaciona principalmente con la definición y el control de lo que está y no está incluido en el proyecto¹³.

En este trabajo, el alcance se enfocará en el diseño y elaboración de un Documento Guía de montaje para la creación de celdas eólicas en Cartagena de Indias, siguiendo los lineamientos de la gestión de proyectos impartida por la metodología del PMI. Se definirán aquellas actividades relacionadas con el diseño y elaboración del documento guía para no incurrir en actividades innecesarias que no se deban realizar. Se creará una Estructura de Desglose de Trabajo (EDT) para desintegrar en actividades más pequeñas aquellas complejas y generales

¹³PMI (2004). **Guía del PMBOK**. 3ra Edición. EE.UU, Pennsylvania. Capítulo 5, Pág. 103.

con el fin de tener un entendimiento más amplio de todas las actividades involucradas y su influencia en el proyecto.

La intención de la gestión del alcance es identificar todas las actividades necesarias para el buen desarrollo del proyecto. El propósito de establecer la gestión del alcance en este proyecto en particular, es el de trazar la línea base, que se compone del Enunciado del Alcance del Proyecto, la EDT y la EDT diccionario, para enfocar los esfuerzos del grupo en el diseño y la creación del respectivo documento guía para el montaje de las celdas eólicas en Cartagena de Indias; por lo que todos aquellos cambios realizados durante el transcurso del proyecto serán tenidos en cuenta para formar una nueva línea de base.

4.3.1 Definiciones

- **Paquete de Trabajo:** *nivel más bajo de la estructura de desglose del trabajo (EDT)*¹⁴.
- **WBS o EDT:** Estructura de desglose del Trabajo, que permite visualizar de manera amplia el alcance del proyecto, mediante la descomposición de las actividades generales en actividades más manejables y controlables por el grupo de trabajo.
- **WBS diccionario:** Es la interpretación de cada una de las actividades enunciadas en la WBS, donde se especificará acerca de los responsables de cada paquete de trabajo, y el esfuerzo o cantidad de trabajo puesto en esa actividad.
- **Línea de Base:** Es aquella que permite controlar el alcance del proyecto para no desviarse del propósito del proyecto.

4.3.2 Declaración del Alcance del Proyecto

La preparación del enunciado que contiene el alcance del proyecto detallado es crítica para el éxito del proyecto y se construye sobre la base de los principales

¹⁴PMI (2004). **Guía del PMBOK**. 3ra Edición. EE.UU, Pennsylvania. Capítulo 6, Pág. 127.

productos entregables, asunciones y restricciones que se documentan durante la iniciación del proyecto en el enunciado del alcance del proyecto preliminar.

Al realizar la Declaración del Alcance para este proyecto, se definieron los entregables, de tal manera que se especifiquen las condiciones en las cuales serán entregados (medidas, acotaciones, entre otras), los criterios o requisitos de aceptación aplicables al proyecto, los recursos de los que dispondrá el equipo del proyecto para desarrollar los diseños de las celdas y el Documento Guía para el montaje y a su vez, los supuestos que permiten tener una idea de los factores que pueden permitir ya sea, el éxito o fracaso del proyecto.

Para definir cómo serían especificados los entregables del proyecto, se conformaron reuniones con los integrantes del Team del Proyecto, y por medio de una lluvia de ideas, se determinó cuáles serían las posibles características técnicas que incluirían los entregables.

Los criterios de aceptación fueron establecidos teniendo en cuenta: **El Tiempo** ya que este es un recurso clave en el momento de la ejecución del proyecto; se establecerán políticas de indemnización o suspensión en caso de que alguna de las partes involucradas en el proyecto no cumpla con los tiempos de entrega estipulados por el grupo de trabajo. **La Calidad**, los criterios establecidos en cuanto a calidad para aceptar el proyecto deben especificar las medidas, acotaciones y especificaciones técnicas en cuanto a los planos entregados, por otra parte, para el documento guía de montaje, deben incluir todos aquellos procedimientos para llevar a cabo el montaje de una celda eólica de manera que pueda ser entendido por cualquier persona que lea dicho documento. Por último, con base en el **Presupuesto**, se establece que en lo posible se evitará incurrir en sobrecostos por demora en la entrega de los planos y documento para el montaje de las celdas, lo que conllevará al establecimiento de políticas de indemnización y sanciones a aquellos que incrementen sin justificación el presupuesto del proyecto.

Debido a que el alcance del proyecto es la creación de un diseño de celdas y consolidación de un documento guía para el montaje, se llegó a la conclusión que los recursos requeridos para el desarrollo de este proyecto son de tipo informático, entre lo que se mencionan: libros y artículos documentales referentes al tema, equipos de cómputo para procesar y administrar la información que llegue a las manos del grupo y capital para realizar la contratación del personal que apoyará el diseño de los planos, e impresiones del Documento Guía.

Los supuestos y los riesgos quedarán plasmados en el cuadro siguiente; cabe aclarar que dichos supuestos y riesgos están enfocados en su mayoría en las fases de implementación y construcción de las celdas eólicas.

Cuadro 3. Declaración del Alcance del Proyecto

Declaración del Alcance del Proyecto	
Fecha: 02-05-09	Nombre de Proyecto: Diseño de celdas eólicas y creación de documento guía de montaje para la generación de energía limpia en la ciudad de Cartagena de indias.
Preparado por: Cesar Mestre Robles José Ramos Guardo Mitchel Montes Imbett	
Objetivos del proyecto: General : Diseñar celdas eólicas y crear Documento Guía de montaje para la generación de energía limpia en la ciudad de Cartagena de Indias, con el propósito de promover el uso de fuentes alternas de energía en la ciudad y aprovechar los recursos naturales del sector dentro del ámbito de la gestión de proyectos usando la metodología del PMI. Específicos: <ul style="list-style-type: none"> • Formalizar la constitución del proyecto definiendo y coordinando las actividades y procesos necesarios para concluirlo. • Delimitar el alcance del proyecto, con el propósito de elaborar el diseño y Documento Guía para el montaje de celdas eólicas ajustado a los requerimientos del proyecto. • Fijar el tiempo requerido para completar el diseño y guía de montaje con el fin de ajustar la entrega al plazo establecido. • Estimar los costos del diseño y guía de montaje de las celdas eólicas con el fin de ajustar los recursos financieros a los requerimientos de la ejecución del proyecto. • Fijar procesos de adquisición y compras para asegurar la disponibilidad de piezas, instrumentos e insumos para la elaboración del diseño y Documento Guía para el montaje de las celdas eólicas en Cartagena. • Definir estándares y requisitos aplicados a los entregables del proyecto, con el propósito de garantizar la calidad del mismo. 	

- Establecer procesos de comunicación con el fin de realizar un eficaz y eficiente manejo de la información requerida.
- Definir el plan de identificación y gestión de riesgos para evitar y/o prevenir la ocurrencia de eventos que representen un riesgo para el desarrollo satisfactorio del proyecto.
- Establecer el Recurso Humano que conformará el Equipo del Proyecto, teniendo en cuenta los entregables y plan de gestión del proyecto, con el fin de seleccionar el personal idóneo para la ejecución del mismo.

Descripción del proyecto

El proyecto consta de dos entregables que serán desarrollados teniendo en cuenta la información recopilada, logrando satisfacer y alcanzar los objetivos planteados al inicio del proyecto, dichos entregables son la realización del diseño de las celdas eólicas y su respectivo documento guía para su montaje.

- El primero, es un entregable que consta de planos de las partes que conforman las celdas eólicas: Torre, Rotor, Aspas y Generador, cada uno con sus respectivas medidas a escala. Adicionalmente se presentarán los planos de una celda ensamblada y un parque eólico, también con sus medidas a escala.
- El segundo entregable corresponde al documento guía, en el cual se incluyen cada uno de los procesos y procedimientos necesarios para llevar a cabo el montaje de la celda eólica. Dicho documento proporcionará información técnica respecto a las celdas eólicas.

Justificación

La energía producida por fuentes eólicas es una energía proveniente del viento, el cual abunda en la ciudad de Cartagena, por la cercanía al Mar Caribe. Debido a que las celdas eólicas no necesitan abastecerse de combustibles fósiles (petróleo, gasolina, gas natural, carbón, entre otros), no emiten gases de efecto invernadero a la atmósfera, lo que hace de estos dispositivos una fuente alterna y limpia de obtener energía eléctrica.

Criterios de aceptación

Tiempo: El proyecto y sus entregables deben ser finalizados en un período inferior a tres (3) meses. En caso de no ser finalizado en el tiempo estipulado, se deducirá un valor del 10% a lo que debe ser cancelado al respectivo proveedor.

Presupuesto: No se excederá del presupuesto disponible (700.000 COP) para completar los entregables del proyecto. Para realizar una adición presupuestal, debe incluirse una justificación, de lo contrario, se sancionará al responsable con la reposición del capital empleado con recursos propios.

Calidad: Para la aceptación de los entregables, en cuanto a los planos de las celdas, éstos deben contener medidas, acotaciones y especificaciones técnicas de cada uno de los componentes de una celda eólica. En cuanto al documento guía, deberán establecerse e incluirse los procedimientos requeridos para proporcionar conocimientos básicos referentes al montaje de las celdas eólicas.

Restricciones:

- Recursos tecnológicos, ya que en el país sólo se ha desarrollado un proyecto concerniente al uso de la energía eólica, lo cual es vital durante la implementación del proyecto.
- Tiempo disponible para la entrega de diseños y Documento Guía.
- Permisos pertinentes por parte de las autoridades ambientales y legales involucradas en la construcción del proyecto a la hora de iniciar la fase de implementación.

- La mano de obra apta para llevar a cabo la implementación del proyecto es altamente tecnificada y escasa en el país, al ser tecnologías nuevas en el territorio nacional.
- El personal experimentado en el tema de celdas eólicas es escaso en la ciudad de origen del proyecto, por lo tanto, el intercambio de información será limitado.

Recursos

Revistas documentales “EOLUS, Actualidad de la Energía Eólica”.

Dos (2) libros electrónicos.

Dos (2) equipos de Cómputo.

Setecientos mil pesos (\$700.000), destinados a recopilación de información adicional, impresiones y viáticos.

Supuestos

- La información recolectada por el grupo de investigación es suficiente para la realización de los entregables.
- Las medidas especificadas para los molinos de viento (aerogeneradores), sean las adecuadas para cumplir los requerimientos del proyecto en Cartagena de Indias en caso de ser implementado.
- Las asesorías por personal experto en implementación de celdas eólicas sea la adecuada para tener como base y poder ejecutar el proyecto.

Riesgos

- Asesoría insuficiente que apoye el desarrollo del proyecto en cuanto a conocimientos de la metodología del PMI.
- Que el diseño y Documento Guía proporcionen información insuficiente en cuanto a medidas y procedimientos de montaje.
- Factores ambientales, en caso de ser implementado el proyecto (Huracanes, Tormentas, Sismos, entre otros.)

Organización

Un Director de Proyecto. (Fabián Gazabón Arrieta)

Un Arquitecto o Ingeniero Civil.

Ingeniero Eléctrico

Ingenieros Industriales (3) ó Team del Proyecto para el desarrollo del proyecto.

4.3.3 Estructura WBS del proyecto (EDT)

Para la creación de la WBS del presente proyecto, se tiene como principal insumo el Alcance del mismo, esto es, para definir la totalidad de las tareas que deben ser completadas durante el desarrollo del proyecto. Una vez identificadas todas las actividades concernientes a la creación de los diseños, fueron subdivididas en actividades más pequeñas, como por ejemplo, para desarrollar el diseño de las celdas es necesario completar primero los esquemas de sus componentes (Rotor,

Torre, Generador, Aspas). Y para el documento guía de montaje, se hace necesario contemplar aquellas actividades que intervienen en el montaje de las celdas eólicas, desde la cimentación hasta el acople de todas sus partes.

Para definir las actividades de la WBS, se decidió establecer cada entregable e identificar cada una de las tareas que intervienen en su ejecución, de tal manera que se obtenga una lista de todas las actividades implicadas en la creación de los diseños y el documento guía de montaje para las celdas eólicas.

En el Cuadro 4 se muestra la lista de las actividades que intervienen en el desarrollo del proyecto, que serán seleccionadas como base para configurar la WBS del proyecto:

Cuadro 4. Lista de Actividades del Proyecto

Entregable	Actividades
Cimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Realización de estudio de suelos • Realizar la excavación de las bases de la celda eólica • Armado del cimiento con varillas de acero • Vertimiento del hormigón o concreto • Fraguado del hormigón o concreto • Inspección del estado de fraguado de las bases
Diseño de la Torre	<ul style="list-style-type: none"> • Definir la forma de la torre • Establecer el peso de la Torre • Definir altura de la torre • Establecer número de secciones de la torre • Establecer diámetros de la torre en base y corona • Definir material de construcción • Realizar plano de la torre
Diseño del Rotor	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer peso del rotor • Definir el diámetro del rotor • Definir el número de aspas del rotor • Realizar el plano del Rotor
Diseño de las Aspas	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer número de Aspas • Establecer Longitud de cada Aspa • Definir el peso de cada Aspa • Realizar el plano de las Aspas

Diseño del Generador eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> • Definir tipo de Generador Eléctrico • Establecer el peso del Generador • Establecer número de polos del Generador • Definir capacidad y potencia del Generador • Realizar plano del Generador Eléctrico
Documento Guía para el montaje de las celdas	<ul style="list-style-type: none"> • Plantear objetivo del documento • Establecer alcance del documento • Definir contenido del documento • Establecer temas del documento

Como último paso, el Grupo del Proyecto conformó la Figura 3 para establecer la WBS del proyecto, se definió un orden de ejecución del Proyecto, donde primero se desarrollará el Plan de Gestión del Proyecto con cada uno de sus planes y áreas del conocimiento, luego se procedió a realizar los planos de cada uno de los entregables referentes al Diseño de las Celdas, y por último, se consolidará el documento guía que permitirá describir los procedimientos de montaje de las celdas eólicas. La realización de los entregables del proyecto se contempla bajo la fase de implementación del mismo.

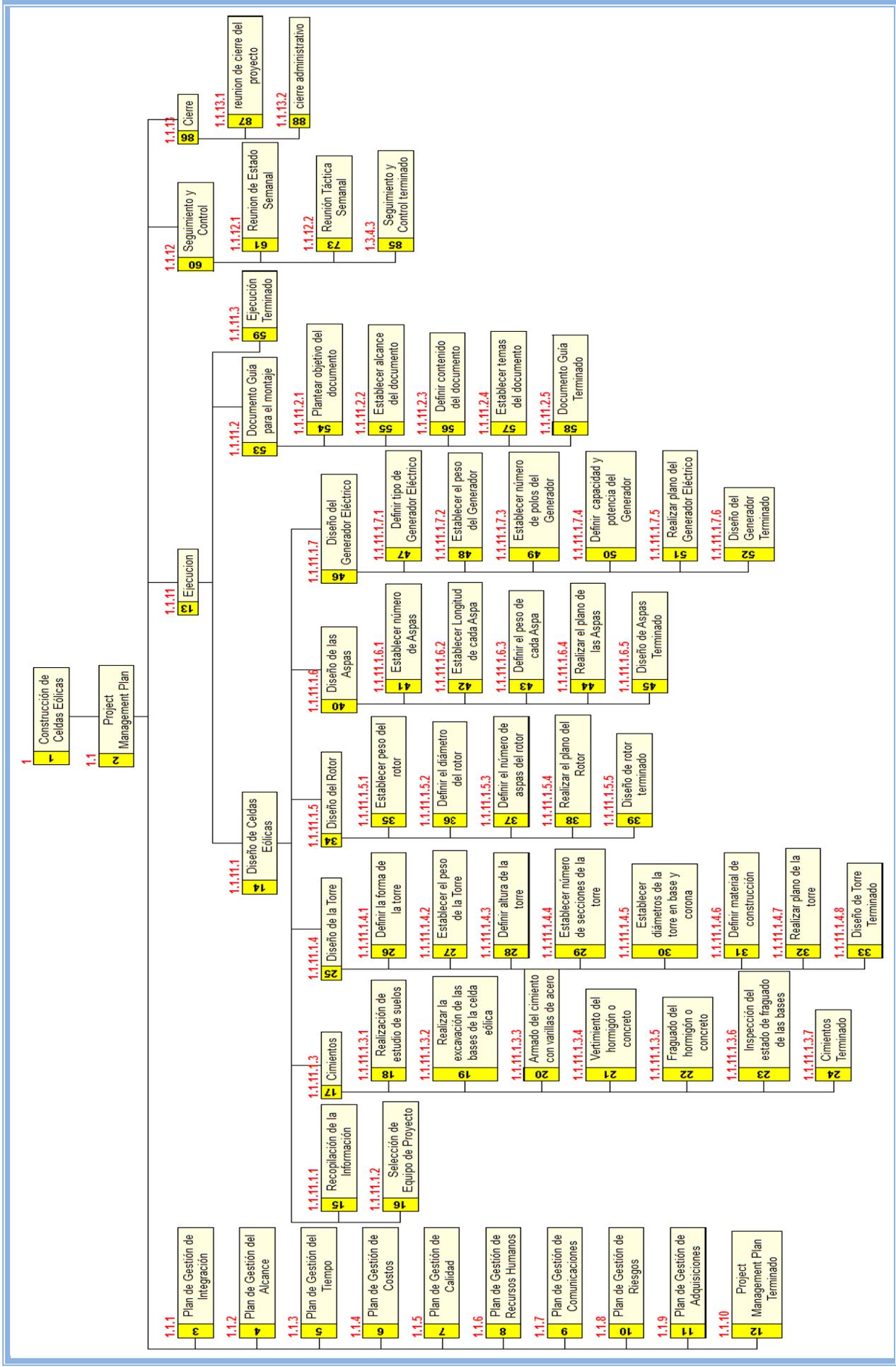


Figura 3. WBS del Diseño y Documento Guía de Celdas Eólicas

4.3.4 Diccionario de la WBS

Para el actual proyecto, la configuración de cada uno de los paquetes de trabajo de la WBS (WBS Diccionario), se realizó tomando como insumo la WBS del proyecto. Para los paquetes de trabajo se definieron Responsables, con el propósito de establecer las actividades o tareas que debe realizar cada integrante y el tiempo de duración de cada una. Se incluyó una descripción del contenido del paquete de trabajo, a fin de definir criterios de aceptación para cada uno. Se ha etiquetado cada paquete con un código que será utilizado durante el desarrollo del proyecto.

En los cuadros 5 al 10 se describen los paquetes de trabajo que se deberían realizar para concluir para desarrollar las actividades generales del proyecto, en este se especifican cuales son los criterios de aceptación, la dependencia y la fecha de finalización de cada uno de estos entregables.

Cuadro 5. WBS Diccionario 1.1.9

WBS diccionario		
Control Account ID #	Work Package # 1.1.9	Responsable(s) Cesar Mestre Robles José Ramos Guardo Mitchel Montes Imbett
Descripción paquete de trabajo: Contiene la Gestión del Proyecto, incluyendo cada uno de los planes de Gestión de las Nueve Áreas del Conocimiento.		
Criterios de aceptación: Debe ser un documento que contenga cada uno de los planes de las nueve áreas del conocimiento		
Entregables Documento que incluye los planes de Gestión del Proyecto.		
Duración: 2 días		
Fecha de finalización: 9 de Junio de 2009		
Interdependencias		Antes 1.1.8 Después
Aprobado por: Fabián Gazabón Arrieta		

Cuadro 6. WBS Diccionario 1.1.11.1.3.6

WBS diccionario		
Control Account ID #	Work Package # 1.1.11.1.3.6	Responsable(s) Cesar Mestre Robles José Ramos Guardo Mitchel Montes Imbett
Descripción paquete de trabajo: Contiene la realización de las actividades concernientes a la cimentación de las bases de las celdas eólicas.		
Criterios de aceptación: Debe ser un documento que especifique como será llevada a cabo la realización de cada actividad referente a la cimentación de las celdas eólicas.		
Entregables Documento que incluye los pasos o procedimientos para la cimentación de las celdas eólicas.		
Duración: 1 días		
Fecha de finalización: 10 de Julio de 2009		
Interdependencias		Antes 1.1.11.1.3.5 Después
Aprobado por: Fabián Gazabón Arrieta		

Cuadro 7. WBS Diccionario 1.1.11.1.4.7

WBS diccionario		
Control Account ID #	Work Package # 1.1.11.1.4.7	Responsable(s) Cesar Mestre Robles José Ramos Guardo Mitchel Montes Imbett
Descripción paquete de trabajo: Contiene el diseño del plano de la torre que soportará el rotor, las aspas y el generador de la celda eólica, acotado con sus dimensiones.		
Criterios de aceptación: Debe ser entregado en papel y el diseño desarrollado en software. Debe especificar altura, ancho y forma de la torre.		
Entregables Planos de la torre de las celdas eólicas en papel y gráfico diseñado en software.		
Duración: 3 días		
Fecha de finalización: 30 de Julio de 2009		
Interdependencias		Antes 1.1.11.1.4.6 Después
Aprobado por: Fabián Gazabón Arrieta		

Cuadro 8. WBS Diccionario 1.1.11.1.5.4

WBS diccionario		
Control Account ID #	Work Package # 1.1.11.1.5.4	Responsable(s) Cesar Mestre Robles José Ramos Guardo Mitchel Montes Imbett
Descripción paquete de trabajo: Contiene el diseño del plano del rotor que irá conectado a las aspas y el generador de la celda eólica, acotado con sus dimensiones.		
Criterios de aceptación: Debe ser entregado en papel y el diseño desarrollado en software. Debe especificar altura, ancho y largo del rotor.		
Entregables Planos del rotor de las celdas eólicas en papel y gráfico modelado en software.		
Duración: 4 días		
Fecha de finalización: 18 de Agosto de 2009		
Interdependencias		Antes 1.1.11.1.5.3 Después
Aprobado por: Fabián Gazabón Arrieta		

Cuadro 9. WBS Diccionario 1.1.11.1.6.4

WBS diccionario		
Control Account ID #	Work Package # 1.1.11.1.6.4	Responsable(s) Cesar Mestre Robles José Ramos Guardo Mitchel Montes Imbett
Descripción paquete de trabajo: Contiene el diseño de las aspas que irán soportadas en el rotor, conectado al generador de la celda eólica, acotado con sus dimensiones.		
Criterios de aceptación: Debe ser entregado en papel y el diseño desarrollado en software. Debe especificar ancho, largo y forma de las aspas.		
Entregables Planos de las aspas de las celdas eólicas en papel y gráfico modelado en software.		
Duración: 3 días		
Fecha de finalización: 28 de Agosto de 2009		
Interdependencias		Antes 1.1.11.1.6.3 Después
Aprobado por: Fabián Gazabón Arrieta		

Cuadro 10. WBS Diccionario 1.1.11.1.7.5

WBS diccionario		
Control Account ID #	Work Package # 1.1.11.1.7.5	Responsable(s) Cesar Mestre Robles José Ramos Guardo Mitchel Montes Imbett
Descripción paquete de trabajo: Contiene el diseño del generador eléctrico que irá acoplado en el rotor de la celda eólica, acotado con sus dimensiones.		
Criterios de aceptación: Debe ser entregado en papel y el diseño desarrollado en software. Debe especificar forma y dimensiones del generador eléctrico.		
Entregables Planos del generador de las celdas eólicas en papel y gráfico modelado en software.		
Duración: 3 días		
Fecha de finalización: 16 de septiembre de 2009		
Interdependencias		Antes 1.1.11.1.7.4 Después
Aprobado por: Fabián Gazabón Arrieta		

Cuadro 11. WBS Diccionario 1.1.11.2.4

WBS diccionario		
Control Account ID #	Work Package # 1.1.11.2.4	Responsable(s) Cesar Mestre Robles José Ramos Guardo Mitchel Montes Imbett
Descripción paquete de trabajo: Documento Guía para el montaje de las celdas eólicas.		
Criterios de aceptación: Se deben describir todos los pasos a seguir para el montaje y/o acople de las celdas eólicas.		
Entregables Documento impreso en papel que contenga aquellos pasos requeridos para unir los componentes de las celdas eólicas.		
Duración: 11 días		
Fecha de finalización: 3 de Julio de 2009		
Interdependencias		Antes 1.1.11.2.3 Después
Aprobado por: Fabián Gazabón Arrieta		

4.3.5 Plan de Gestión del Alcance

El alcance del proyecto se enmarcará en el diseño y documento guía para el montaje de las celdas eólicas en Cartagena, por medio de la selección de un diseño capaz de adaptarse a los requerimientos del proyecto en la ciudad. Lo anterior será soportado por planos con sus respectivas partes y medidas que juntas conformarán las celdas eólicas.

Consta de una segunda parte la cual consiste en el documento guía para el montaje de dichas celdas en la ciudad. El documento hará énfasis en la cimentación y montaje del sistema de celdas.

El alcance tendrá un seguimiento por parte del Team del proyecto mediante la revisión de la línea base del proyecto y determinar que tanto se ciñe a lo planeado. Se construirá un documento el cual contenga todos los cambios que haya sufrido la línea de base original para así medir el desfase, llevar el control y seguimiento de las actividades con respecto a lo planeado (Ver anexo 1).

El Team del Proyecto supervisado por el Director, se encargará de llevar a cabo el control y la supervisión de cada una de las actividades que intervengan en el alcance del proyecto, tendrá en cuenta el tiempo de finalización de cada actividad con el fin de no sobrepasar el tiempo requerido para la entrega del proyecto.

4.4 GESTIÓN DEL TIEMPO

La Gestión del Tiempo del Proyecto incluye los procesos necesarios para lograr la conclusión del proyecto a tiempo, muestra una descripción general de los procesos de Gestión del Tiempo, y también un diagrama de flujo de esos procesos¹⁵.

¹⁵PMI (2004). **Guía del PMBOK**. 3ra Edición. EE.UU, Pennsylvania. Capítulo 6, Pág. 123.

En el proyecto de Diseño y creación de un documento guía para el montaje de celdas eólicas, el tiempo, además de ser un recurso valioso, es el más escaso debido a la fecha límite de entrega del proyecto. Por lo tanto se hace necesario asignar y distribuir el tiempo destinado a cada actividad y tarea para completar el proyecto, de manera que se ajuste al plazo de entrega final del mismo.

La gestión del tiempo tiene como propósito principal la administración y asignación de tiempo a cada una de las actividades especificadas en el alcance del proyecto, con el fin de realizar lo planeado en el tiempo estipulado, y utilizar este recurso de la mejor manera posible, para que no sea necesario incurrir en tiempo extra para la terminación y/o conclusión del proyecto.

4.4.1 Establecimiento de la Secuencia de las Actividades

4.4.1.1 Lista de Actividades

Para este proyecto, la realización de las actividades del cronograma requiere desglosar cada paquete de trabajo de la EDT en actividades más pequeñas, que se convertirán en las actividades que permitirán integrar cada paquete de trabajo. La herramienta utilizada para generar la lista de actividades del cronograma fue la técnica de descomposición, la cual permite subdividir los paquetes de trabajo en componentes más pequeños y manejables, de tal manera que se sigan paso a paso y en el tiempo establecido las tareas para completar el correspondiente paquete de trabajo.

La siguiente lista de las actividades del cronograma se consolidó teniendo en cuenta las actividades en un orden lógico, que son necesarias desarrollar para cada entregable. Las entradas de cada entregable (incluyendo los diseños y el documento guía) es información, la cual es de carácter técnico, con el propósito de determinar las especificaciones (dimensiones, escala, procedimientos de montaje, entre otras) con las que debe cumplir cada plano y cada sección del documento

guía, es por esto que la recopilación de información necesaria es ejecutada antes de iniciar el proceso de realización de cada entregable.

Una vez se ha recopilado la información y se conocen las especificaciones técnicas, se requieren los insumos y equipos necesarios, para realizar los diseños, esto incluye la adquisición del software y contratación del personal que apoyará al grupo durante el desarrollo de este entregable. Para el documento guía, una vez obtenida la información, se adquirirán los consumibles y equipos necesarios para su elaboración, ejecutada por el grupo de trabajo del presente proyecto, como lo muestra el Cuadro 12:

Cuadro 12. Actividades del Cronograma

Entregable	Actividades
Cimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Realización de estudio de suelos • Realizar la excavación de las bases de la celda eólica • Armado del cimiento con varillas de acero • Vertimiento del hormigón o concreto • Fraguado del hormigón o concreto • Inspección del estado de fraguado de las bases
Diseño de la Torre	<ul style="list-style-type: none"> • Definir la forma de la torre • Establecer el peso de la Torre • Definir altura de la torre • Establecer número de secciones de la torre • Establecer diámetros de la torre en base y corona • Definir material de construcción • Realizar plano de la torre
Diseño del Rotor	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer peso del rotor • Definir el diámetro del rotor • Definir el número de aspas del rotor • Realizar el plano del Rotor
Diseño de las Aspas	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer número de Aspas • Establecer Longitud de cada Aspa • Definir el peso de cada Aspa • Realizar el plano de las Aspas
Diseño del Generador eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> • Definir tipo de Generador Eléctrico • Establecer el peso del Generador • Establecer número de polos del Generador • Definir capacidad y potencia del Generador • Realizar plano del Generador Eléctrico
Documento Guía para el montaje de las celdas	<ul style="list-style-type: none"> • Plantear objetivo del documento • Establecer alcance del documento • Definir contenido del documento • Establecer temas del documento

4.4.1.2 Lista de Hitos

Dentro de la realización de este proyecto, se recopilarán todos los hitos que intervienen en el mismo, mencionados en el Cuadro 12, los cuales son eventos que no tienen duración. Los hitos en este proyecto se han establecido cada vez que se ha completado un entregable, o un componente de cada entregable, indicando que se ha culminado una fase dentro de la ejecución del proyecto. Dichos hitos permiten llevar un control de las actividades realizadas, es entonces, un *checkpoint* para considerar si la tarea que se realizó cumple con los requerimientos establecidos. Los siguientes son los hitos del proyecto, identificados con la respectiva numeración de la EDT:

Cuadro 13. Listado de Hitos del Proyecto

Hito	Descripción
1.1.10	Project Management Plan Terminado
1.1.11.1.3.7	Cimientos Terminado
1.1.11.4.8	Plano de diseño de la torre terminado
1.1.11.5.5	Plano del diseño del rotor terminado
1.1.11.6.5	Plano del diseño de las Aspas terminado
1.1.11.7.6	Plano del diseño del generador eléctrico terminado
1.1.11.2.5	Documento Guía para el montaje de celdas eólicas Terminado
1.1.11.3	Ejecución Terminado
1.3.4.3	Seguimiento y Control Terminado

4.4.1.3 Determinación de Dependencias

Para efectos del actual proyecto se utilizará la dependencia obligatoria, ya que en esta el equipo de dirección del proyecto determina qué dependencias son obligatorias durante el proceso de establecimiento de la secuencia de las actividades.

La Figura 4 muestra la precedencia de las distintas actividades involucradas en la realización del proyecto, este se realizó empleando la herramienta *Microsoft Office Project®*, definiendo en cada espacio correspondiente en la columna de

“Precedencias”, la secuencia lógica de las actividades, de tal manera que el usuario e interesado pueda conocer la secuencia de tareas, hasta llegar a la conclusión del proyecto. Se estableció un orden para la realización del proyecto, el cual tiene como principal bloque de actividades la gestión del proyecto, seguido a esto, se desarrolla la ejecución del mismo, que contiene las actividades a seguir para cumplir con los entregables, ya sea el diseño de los planos y el documento guía del montaje de las celdas eólicas. La numeración que aparece en la columna de Precedencias corresponde al número de la actividad de la cual depende, como se muestra a continuación:

	i	EDT	Nombre de tarea	Predecesoras
1		1	Construcción de Celdas Eólicas	
2		1.1	Project Management Plan	
3		1.1.1	Plan de Gestión de Integración	
4		1.1.2	Plan de Gestión del Alcance	3
5		1.1.3	Plan de Gestión del Tiempo	4
6		1.1.4	Plan de Gestión de Costos	5
7		1.1.5	Plan de Gestión de Calidad	6
8		1.1.6	Plan de Gestión de Recursos Humanos	7
9		1.1.7	Plan de Gestión de Comunicaciones	8
10		1.1.8	Plan de Gestión de Riesgos	9
11		1.1.9	Plan de Gestión de Adquisiciones	10
12		1.1.10	Project Management Plan Terminado	11
13		1.1.11	Ejecucion	12
14		1.1.11.1	Diseño de Celdas Eólicas	
15		1.1.11.1.1	Recopilación de la Información	12
16		1.1.11.1.2	Selección de Equipo de Proyecto	12
17		1.1.11.1.3	Cimientos	
18		1.1.11.1.3.1	Realización de estudio de suelos	15,16
19		1.1.11.1.3.2	Realizar la excavación de las bases de la celda eólica	18
20		1.1.11.1.3.3	Armado del cimiento con varillas de acero	19
21		1.1.11.1.3.4	Vertimiento del hormigón o concreto	20
22		1.1.11.1.3.5	Fraguado del hormigón o concreto	21
23		1.1.11.1.3.6	Inspección del estado de fraguado de las bases	22
24		1.1.11.1.3.7	Cimientos Terminado	23
25		1.1.11.1.4	Diseño de la Torre	
26		1.1.11.1.4.1	Definir la forma de la torre	15,24
27		1.1.11.1.4.2	Establecer el peso de la Torre	26
28		1.1.11.1.4.3	Definir altura de la torre	27
29		1.1.11.1.4.4	Establecer número de secciones de la torre	28
30		1.1.11.1.4.5	Establecer diámetros de la torre en base y corona	29
31		1.1.11.1.4.6	Definir material de construcción	30
32		1.1.11.1.4.7	Realizar plano de la torre	31
33		1.1.11.1.4.8	Diseño de Torre Terminado	32

	EDT	Nombre de tarea	Predecesoras
34	1.1.11.1.5	▢ Diseño del Rotor	
35	1.1.11.1.5.1	Establecer peso del rotor	15,33
36	1.1.11.1.5.2	Definir el diámetro del rotor	35
37	1.1.11.1.5.3	Definir el número de aspas del rotor	36
38	1.1.11.1.5.4	Realizar el plano del Rotor	37
39	1.1.11.1.5.5	Diseño de rotor terminado	38
40	1.1.11.1.6	▢ Diseño de las Aspas	
41	1.1.11.1.6.1	Establecer número de Aspas	15,39
42	1.1.11.1.6.2	Establecer Longitud de cada Aspa	41
43	1.1.11.1.6.3	Definir el peso de cada Aspa	42
44	1.1.11.1.6.4	Realizar el plano de las Aspas	43
45	1.1.11.1.6.5	Diseño de Aspas Terminado	44
46	1.1.11.1.7	▢ Diseño del Generador Eléctrico	
47	1.1.11.1.7.1	Definir tipo de Generador Eléctrico	15,45
48	1.1.11.1.7.2	Establecer el peso del Generador	47
49	1.1.11.1.7.3	Establecer número de polos del Generador	48
50	1.1.11.1.7.4	Definir capacidad y potencia del Generador	49
51	1.1.11.1.7.5	Realizar plano del Generador Eléctrico	50
52	1.1.11.1.7.6	Diseño del Generador Terminado	51
53	1.1.11.2	▢ Documento Guía para el montaje	
54	1.1.11.2.1	Plantear objetivo del documento	15
55	1.1.11.2.2	Establecer alcance del documento	54
56	1.1.11.2.3	Definir contenido del documento	55
57	1.1.11.2.4	Establecer temas del documento	56
58	1.1.11.2.5	Documento Guía Terminado	57
59	1.1.11.3	Ejecución Terminado	58
60	1.1.12	▢ Seguimiento y Control	12
61	1.1.12.1	⊕ Reunión de Estado Semanal	
73	1.1.12.2	⊕ Reunión Táctica Semanal	
85	1.3.4.3	Seguimiento y Control terminado	
86	1.1.13	▢ Cierre	85,59
87	1.1.13.1	reunion de cierre del proyecto	
88	1.1.13.2	cierre administrativo	87

Figura 4. Secuencia de actividades del Proyecto

4.4.1.4 Método de Diagramación de Actividades

El diagrama de Red, del presente proyecto fue realizado teniendo en cuenta la lista de precedencias establecidas anteriormente, la cual muestra que actividades dependen de otras para la ejecución del proyecto. Se estableció que la regla que determina la secuencia de las actividades es de Fin a Inicio (Finish To Start) ya que al terminar una tarea, la siguiente puede iniciar.

La Figura 5, presenta el Diagrama de Red para el actual proyecto, ya que muestra las dependencias de cada una de las actividades incluidas en la ejecución del mismo. Dicha Figura fue realizada por el Grupo del Proyecto.

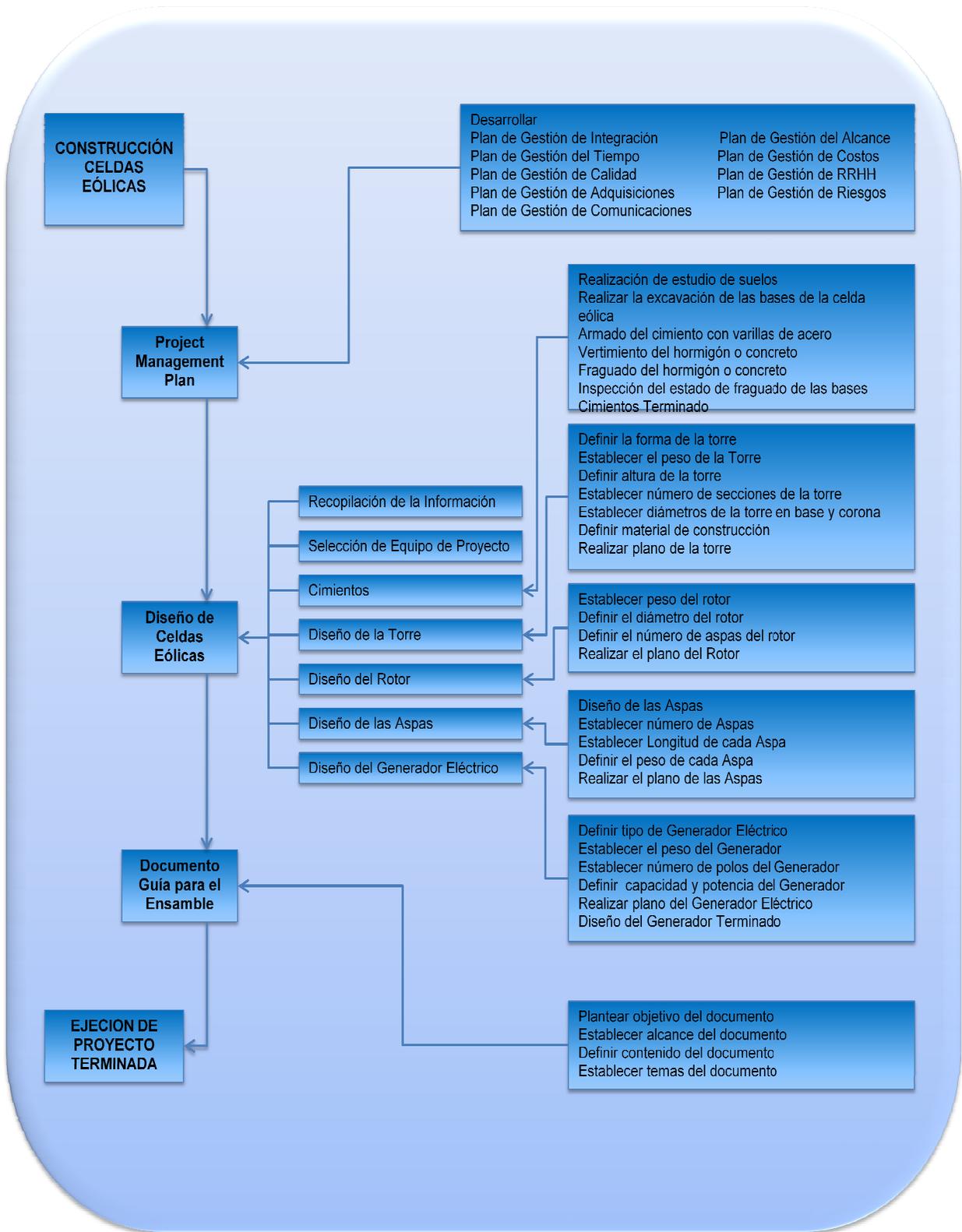


Figura 5. Diagrama de Red del Proyecto.

4.4.2 Estimación de Recursos de las Actividades

Para el actual proyecto, la estimación de los recursos se realizará empleando la herramienta *Microsoft Office Project* ® ya que este tiene la capacidad de ayudar a planificar, organizar y gestionar los conjuntos de recursos, y de desarrollar estimaciones de los mismos en cuanto a personal, equipos, materiales e insumos que serán necesarios para desarrollar cada actividad dentro del proyecto, para tener una idea previa de lo que necesita el proyecto para iniciar.

Los recursos que se necesitan para desarrollar los entregables del proyecto han sido clasificados en tres Tipos y tres Grupos, entre los Tipos se tienen: Trabajo, Material y Costo; y entre los grupos se encuentran: Recurso Humano, Equipo y Material. Los recursos bajo el Tipo de Trabajo son todos aquellos que con su conocimiento y esfuerzo aportan en la realización de las actividades durante el proyecto, todos éstos identificados a su vez como el Grupo Recurso Humano, en él se incluyen el Director de Proyecto, el Arquitecto o Ingeniero Civil, el Ingeniero Eléctrico y los tres (3) ingenieros industriales, quienes conforman el Team del Proyecto.

Los recursos empleados para la realización de este proyecto son los siguientes: Equipos de Cómputo (incluyen escáner e impresoras), empleados para la realización del Documento Guía y los Planos de las celdas eólicas, Libros y revistas documentales que permitirán al grupo de trabajo recopilar toda la información requerida para la ejecución del proyecto, Consumibles (papel y tinta) para la impresión de los entregables, Energía Eléctrica, Servicio Telefónico y Servicio de Internet para la realización de consultas a proveedores y comunicación con el resto del grupo del proyecto.

En Cuadro 14, se muestra la estimación de los recursos que son considerados como entradas del proyecto para su desarrollo. El Team del Proyecto, con apoyo del Director de Proyectos realizó una lista de los recursos necesarios para

completar las tareas implicadas en el desarrollo del proyecto, determinando los siguientes:

Cuadro 14. Estimación de Recursos.

Nombre del recurso	Tipo	Etiqueta de material	Iniciales	Grupo
Director de Proyecto	Trabajo		DP	RRHH
Arquitecto	Trabajo		AI	RRHH
Ingeniero Civil	Trabajo		IC	RRHH
Ingeniero Eléctrico	Trabajo		IE	RRHH
Ingeniero Industrial 1	Trabajo		I1	RRHH
Ingeniero Industrial 2	Trabajo		I2	RRHH
Ingeniero Industrial 3	Trabajo		I3	RRHH
Equipo de Computo 1	Material	Kw/h	EC1	Equipo
Equipo de Computo 2	Material	Kw/h	EC2	Equipo
Revista Documental "EOLUS"	Material	unidad	RE	Material
Libro electrónico 1	Material	unidad	L1	Material
Libro Electrónico 2	Material	unidad	L2	Material
Escáner Canon MP190	Material	Kw/h	E	Equipo
Impresora Canon MP190	Material	Kw/h	I	Equipo
Papel Reprograf Carta 21.6 x 27.9 cm	Material	Resma	P	Material
Tinta Negro y Color Canon CL-31	Material	Cartucho	T	Material
Energía Eléctrica Electricaribe	Material	Kw/h	EE	Equipo
Servicio de Telefonía Telefónica Telecom	Material	Min.	ST	Equipo
Servicio de Internet Telefónica Telecom	Material	\$/Hora	SI	Equipo

4.4.3 Estimación de la Duración de las Actividades

Se ha recurrido al juicio de expertos, que en este caso sería el Arquitecto contratado para realizar los Planos, en Ingeniero Eléctrico, Ingeniero Civil, para definir la duración de cada una de las tareas implicadas en la ejecución del mismo. En cuanto a la realización de los planos del rotor, se estimaron 4 días debido a la complejidad del levantamiento de la información y por la variedad de componentes que este debe contener; para los demás se establecieron 3 días para su culminación, puesto que son planos que contienen un componente específico.

En cuanto a la diferencia de días para los diferentes diseños se puede mencionar que dicha diferencia hace referencia a la disponibilidad de la información y la

complejidad de cada componente y teniendo en cuenta la opinión expresada por la persona a cargo de elaborar los planos y el grupo del proyecto.

Con respecto al documento guía, el grupo de trabajo, quien es el encargado de realizar el entregable mencionado anteriormente, determinó que en once (11) días se logrará concluir dicho documento que contendrá los pasos y procedimientos necesarios para el ensamblaje de las celdas eólicas.

Se estableció teniendo en cuenta cada uno de los planes de las áreas del conocimiento, la ejecución, seguimiento y cierre del proyecto, la estimación de la duración de la Gestión del Proyecto y ésta se desarrollará en ciento tres (103) días.

A continuación se muestra en el Cuadro 14 la estimación de la duración de cada una de las actividades que integran este proyecto:

Cuadro 15. Estimación de Duración de las Actividades.

	EDT	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1	1	Construcción de Celdas Eólicas	102,13 días	vie 01/05/09	mar 22/09/09
2	1.1	Project Management Plan	102,13 días	vie 01/05/09	mar 22/09/09
3	1.1.1	Plan de Gestión de Integración	4 días	vie 01/05/09	mié 06/05/09
4	1.1.2	Plan de Gestión del Alcance	3 días	jue 07/05/09	jue 14/05/09
5	1.1.3	Plan de Gestión del Tiempo	4 días	jue 14/05/09	mié 20/05/09
6	1.1.4	Plan de Gestión de Costos	3 días	mié 20/05/09	lun 25/05/09
7	1.1.5	Plan de Gestión de Calidad	3 días	lun 25/05/09	jue 28/05/09
8	1.1.6	Plan de Gestión de Recursos Humanos	2 días	jue 28/05/09	mar 02/06/09
9	1.1.7	Plan de Gestión de Comunicaciones	2 días	mar 02/06/09	vie 05/06/09
10	1.1.8	Plan de Gestión de Riesgos	2 días	vie 05/06/09	mié 10/06/09
11	1.1.9	Plan de Gestión de Adquisiciones	2 días	mié 10/06/09	lun 15/06/09
12	1.1.10	Project Management Plan Terminado	0 días	lun 15/06/09	lun 15/06/09
13	1.1.11	Ejecucion	71 días	lun 15/06/09	mar 22/09/09
14	1.1.11.1	Diseño de Celdas Eólicas	71 días	lun 15/06/09	mar 22/09/09
15	1.1.11.1.1	Recopilación de la Información	7 días	lun 15/06/09	mié 24/06/09
16	1.1.11.1.2	Selección de Equipo de Proyecto	3 días	lun 15/06/09	jue 18/06/09
17	1.1.11.1.3	Cimientos	16 días	mié 24/06/09	jue 16/07/09
18	1.1.11.1.3.1	Realización de estudio de suelos	2 días	mié 24/06/09	vie 26/06/09
19	1.1.11.1.3.2	Realizar la excavación de las bases de la celda eólica	3 días	vie 26/06/09	mié 01/07/09
20	1.1.11.1.3.3	Armado del cimiento con varillas de acero	2 días	mié 01/07/09	vie 03/07/09
21	1.1.11.1.3.4	Vertimiento del hormigón o concreto	1 día	vie 03/07/09	lun 06/07/09
22	1.1.11.1.3.5	Fraguado del hormigón o concreto	7 días	lun 06/07/09	mié 15/07/09
23	1.1.11.1.3.6	Inspección del estado de fraguado de las bases	1 día	mié 15/07/09	jue 16/07/09
24	1.1.11.1.3.7	Cimientos Terminado	0 días	jue 16/07/09	jue 16/07/09
25	1.1.11.1.4	Diseño de la Torre	14 días	jue 16/07/09	mié 05/08/09
26	1.1.11.1.4.1	Definir la forma de la torre	1 día	jue 16/07/09	vie 17/07/09
27	1.1.11.1.4.2	Establecer el peso de la Torre	3 días	vie 17/07/09	mié 22/07/09
28	1.1.11.1.4.3	Definir altura de la torre	2 días	mié 22/07/09	vie 24/07/09
29	1.1.11.1.4.4	Establecer número de secciones de la torre	1 día	vie 24/07/09	lun 27/07/09
30	1.1.11.1.4.5	Establecer diámetros de la torre en base y corona	3 días	lun 27/07/09	jue 30/07/09
31	1.1.11.1.4.6	Definir material de construcción	1 día	jue 30/07/09	vie 31/07/09
32	1.1.11.1.4.7	Realizar plano de la torre	3 días	vie 31/07/09	mié 05/08/09
33	1.1.11.1.4.8	Diseño de Torre Terminado	0 días	mié 05/08/09	mié 05/08/09

	EDT	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
34	1.1.11.1.5	▣ Diseño del Rotor	13 días	mié 05/08/09	lun 24/08/09
35	1.1.11.1.5.1	Establecer peso del rotor	5 días	mié 05/08/09	mié 12/08/09
36	1.1.11.1.5.2	Definir el diámetro del rotor	3 días	mié 12/08/09	lun 17/08/09
37	1.1.11.1.5.3	Definir el número de aspas del rotor	1 día	lun 17/08/09	mar 18/08/09
38	1.1.11.1.5.4	Realizar el plano del Rotor	4 días	mar 18/08/09	lun 24/08/09
39	1.1.11.1.5.5	Diseño de rotor terminado	0 días	lun 24/08/09	lun 24/08/09
40	1.1.11.1.6	▣ Diseño de las Aspas	8 días	lun 24/08/09	jue 03/09/09
41	1.1.11.1.6.1	Establecer número de Aspas	1 día	lun 24/08/09	mar 25/08/09
42	1.1.11.1.6.2	Establecer Longitud de cada Aspa	2 días	mar 25/08/09	jue 27/08/09
43	1.1.11.1.6.3	Definir el peso de cada Aspa	2 días	jue 27/08/09	lun 31/08/09
44	1.1.11.1.6.4	Realizar el plano de las Aspas	3 días	lun 31/08/09	jue 03/09/09
45	1.1.11.1.6.5	Diseño de Aspas Terminado	0 días	jue 03/09/09	jue 03/09/09
46	1.1.11.1.7	▣ Diseño del Generador Eléctrico	13 días	jue 03/09/09	mar 22/09/09
47	1.1.11.1.7.1	Definir tipo de Generador Eléctrico	4 días	jue 03/09/09	mié 09/09/09
48	1.1.11.1.7.2	Establecer el peso del Generador	2 días	mié 09/09/09	vie 11/09/09
49	1.1.11.1.7.3	Establecer número de polos del Generador	1 día	vie 11/09/09	lun 14/09/09
50	1.1.11.1.7.4	Definir capacidad y potencia del Generador	3 días	lun 14/09/09	jue 17/09/09
51	1.1.11.1.7.5	Realizar plano del Generador Eléctrico	3 días	jue 17/09/09	mar 22/09/09
52	1.1.11.1.7.6	Diseño del Generador Terminado	0 días	mar 22/09/09	mar 22/09/09
53	1.1.11.2	▣ Documento Guía para el montaje	11 días	mié 24/06/09	jue 09/07/09
54	1.1.11.2.1	Plantear objetivo del documento	1 día	mié 24/06/09	jue 25/06/09
55	1.1.11.2.2	Establecer alcance del documento	2 días	jue 25/06/09	lun 29/06/09
56	1.1.11.2.3	Definir contenido del documento	6 días	lun 29/06/09	mar 07/07/09
57	1.1.11.2.4	Establecer temas del documento	2 días	mar 07/07/09	jue 09/07/09
58	1.1.11.2.5	Documento Guía Terminado	0 días	jue 09/07/09	jue 09/07/09
59	1.1.11.3	Ejecución Terminado	0 días	jue 09/07/09	jue 09/07/09
60	1.1.12	▣ Seguimiento y Control	20,25 días	lun 15/06/09	lun 13/07/09
61	1.1.12.1	⊕ Reunion de Estado Semanal	20,25 días	lun 15/06/09	lun 13/07/09
73	1.1.12.2	⊕ Reunión Táctica Semanal	19,25 días	lun 15/06/09	vie 10/07/09
85	1.3.4.3	Seguimiento y Control terminado	0 días	lun 15/06/09	lun 15/06/09
86	1.1.13	▣ Cierre	3 días	jue 09/07/09	mar 14/07/09
87	1.1.13.1	reunion de cierre del proyecto	1 día	jue 09/07/09	vie 10/07/09
88	1.1.13.2	cierre administrativo	1 día	lun 13/07/09	mar 14/07/09

4.4.4 Cronograma detallado del proyecto

Para efectos del proyecto que se está tratando, se empleó la herramienta Microsoft Office Project® como apoyo al proceso de conformación del Cronograma de Actividades. Dentro de cada espacio correspondiente se insertó la información pertinente a: Tareas del Cronograma, Secuencia y Precedencia de las Actividades, Hitos, Recursos y Tiempo de duración de todas las acciones requeridas para completar el proyecto, lo cual es producto de los incisos desarrollados anteriormente (4.4.1 a 4.4.3).

En la Figura 6, se mostrará la numeración utilizada en la EDT del Proyecto para identificar cada tarea y se indicará el inicio y fin de cada actividad, el software de apoyo arrojó el siguiente resultado:

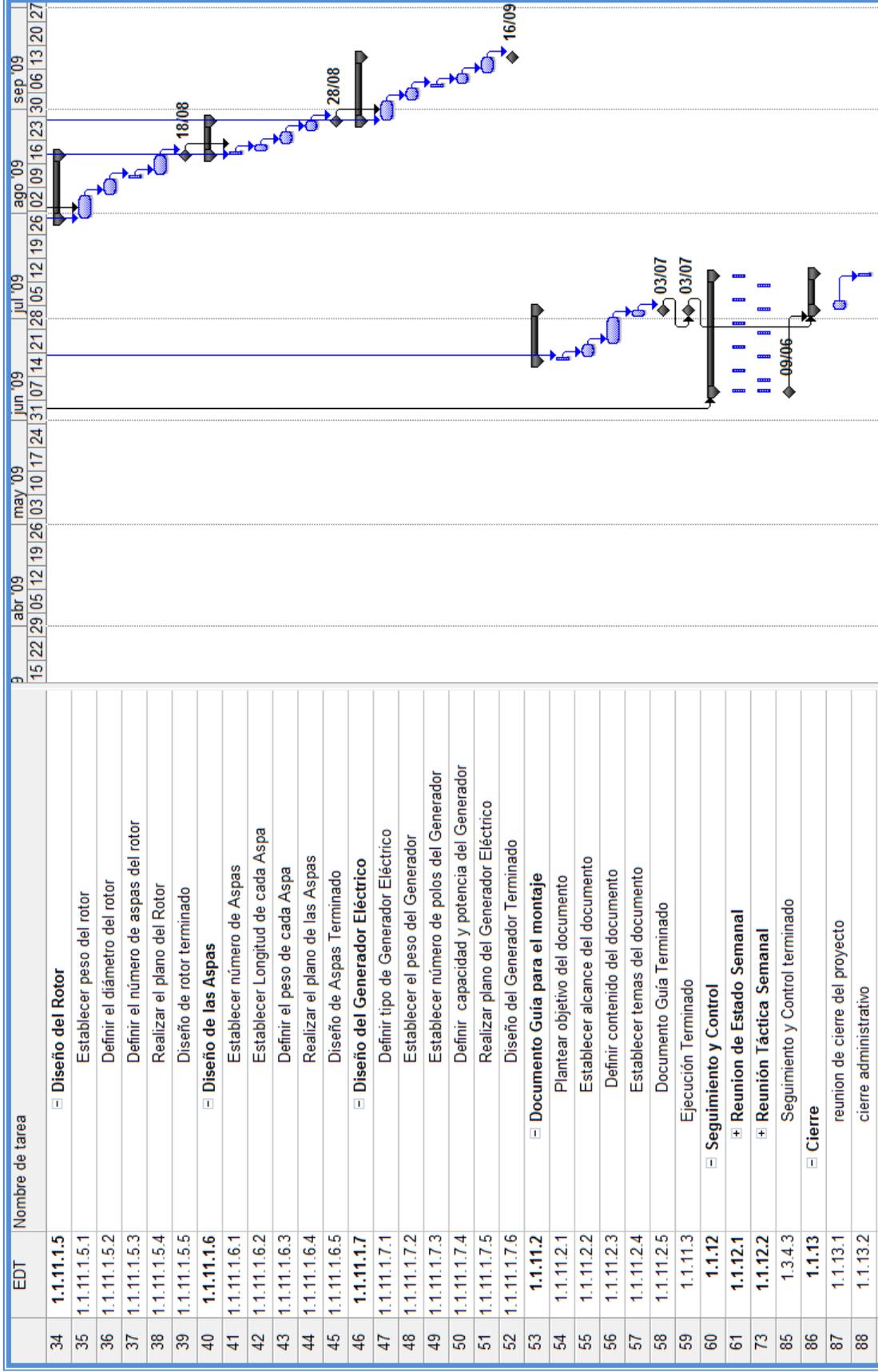


Figura 6. Cronograma de Actividades.

4.4.5 Plan de Gestión del Tiempo

Con la identificación de los paquetes de trabajo será mucho más fácil desintegrar los mismos en actividades puntuales con el fin de tener el tiempo que genera desarrollar cada uno. De la misma manera, se deben buscar las dependencias e interrelaciones de todas las tareas, con el fin observar cuales dependen una de la otra, empleando un diagrama de red. En el proyecto de diseño y creación de Documento Guía para el montaje de celdas eólicas en Cartagena, primero debe completarse la recopilación y ordenamiento de la información adquirida, para luego proceder a proponer un diseño que contenga los planos de las celdas y respectivo documento guía. El tiempo para recopilar dicha información debe estar planeado de tal manera que sea el suficiente para completar el proyecto en el tiempo estipulado.

El plan de gestión del tiempo será realizado por el grupo de trabajo, para así establecer un orden y una secuencia para realizar cada una de las actividades a su debido momento, con el fin de no sobrepasar el plazo estipulado de entrega. En caso de que las actividades no puedan ser completadas a tiempo, se procederá a asignar más recursos a dicha tarea con el propósito de no desfasar el período de duración del proyecto.

Se administrará el tiempo por medio de la herramienta Microsoft Office Project® para planear el desarrollo de las tres fases con las que cuenta el proyecto: Gerencia del Proyecto, Diseño de las Celdas Eólicas y Creación del Documento Guía para el montaje de la misma. Dicha herramienta permitirá establecer la duración de cada actividad, dando como resultado el tiempo total para la terminación del proyecto, el cual está planeado para el 16 de septiembre de 2009.

La gestión del tiempo inicia antes de ponerse en marcha el proyecto, lo que puede prever actividades innecesarias que puedan presentarse, y así evitar atrasos en la fecha de entrega del proyecto.

4.5 GESTIÓN DE LOS COSTOS

La Gestión de los Costos del Proyecto incluye los procesos involucrados en la planificación, estimación, preparación del presupuesto y control de costos de forma que el proyecto se pueda completar dentro del presupuesto aprobado.

La Gestión de los Costes del Proyecto se ocupa principalmente del costo de los recursos necesarios para completar las actividades del cronograma. Sin embargo, la Gestión de los Costos del Proyecto también debería considerar el efecto de las decisiones del proyecto sobre los costos del uso, mantenimiento y soporte del producto, servicio o resultado del proyecto¹⁶.

Para el actual proyecto, se apuntará a la gestión de los costos como una herramienta para asignar el recurso monetario disponible para cada actividad implicada, distribuyendo los costos de acuerdo a la importancia del entregable que se desarrolle en un instante de tiempo.

El propósito de la gestión de los costos en este proyecto es el de realizar una buena estimación de cada uno de ellos, con el fin de garantizar la disponibilidad de recursos financieros para cada fase de desarrollo, desde la recopilación de la información, la elaboración de los diseños de las celdas, el documento guía para el montaje de las celdas eólicas y el plan de gestión del proyecto, de tal manera que pueda ser finalizado sin incurrir en sobrecostos que modifiquen lo planeado del proyecto.

4.5.1 Definiciones

- **Presupuesto:** Es considerado la planeación de la cantidad de recursos que puede costar una actividad, en un horizonte de tiempo fijado.

¹⁶PMI (2004). **Guía del PMBOK**. 3ra Edición. EE.UU, Pennsylvania. Capítulo 7, Pág. 157

- **Estimación de Costos:** Es el proceso donde se realizan las estimaciones necesarias de lo que puede llegar a costar cada actividad.

4.5.2 Estimación de Costos

Para el proyecto en curso, se empleará la *Determinación de Tarifas de Costos de Recursos*, puesto que el grupo de trabajo ha conocido el costo unitario de todos los recursos que se necesitan para la elaboración del proyecto (materiales, equipos) mediante la investigación de proveedores y tarifas en el mercado, y el costo por hora del recurso humano que se empleará en el proyecto. La determinación del costo de los materiales y equipos se llevó a cabo mediante cotizaciones con los proveedores en la ciudad que comercian Papelería e Insumos de Oficina, entre los cuales se encuentran: Papelería Panamericana, Papelería Tauro y Papers & Papers.

Para el costo del recurso humano, el cual se representa en la contratación del Arquitecto, Ingeniero Civil, Ingeniero Eléctrico, Director de Proyecto e Ingenieros Industriales para la realización de los planos y documento guía, se empleará un costo por hora por el tiempo requerido para realizar los entregables del proyecto, para llevar esto a cabo se tuvo en cuenta la encuesta anual nacional de Human Capital, ya que por medio de ésta se pueden determinar los salarios del recurso humano mencionado anteriormente a nivel nacional en Colombia¹⁷.

Con respecto a los costos referentes a los equipos, entre los cuales se encuentran el Escáner, los dos (2) Equipos de Cómputo, Impresora, el Grupo de Trabajo verá reflejado el costo de utilizar estos equipos por medio del consumo de Energía Eléctrica dada en Kilovatios por hora (Kw/h). Por último, en cuanto a los recursos de información bibliográfica, la revista documental referente al tema de celdas eólicas "EOLUS", fue adquirida mediante un pedido vía e-mail a la empresa EOLUS, localizada en Barcelona, España, cuyos costos fueron asumidos por el grupo de trabajo; además, los libros electrónicos y las consultas realizadas a

¹⁷ Human Capital. Encuesta Anual Nacional. Disponible en www.guiagrh.com . Consultado el 7 de Junio de 2010.

proveedores, el costo asumido se ve reflejado en el servicio de Internet y Llamadas Telefónicas.

4.5.2.1 Estimado de los Costos

La manera de representar los costos del proyecto, es mediante el software Microsoft Office Project®, colocando el nombre del Recurso, definiendo su Tipo y Grupo, como se detalló en la sección 4.4.2 Estimación de Recursos. Una vez se dispone de estos datos, se procede a colocar para cada recurso, su capacidad máxima de trabajo, de tal manera que se pueda completar el proyecto cumpliendo con los criterios de aceptación propuestos en el alcance sin la necesidad de incurrir en tiempo extra.

Luego, se asigna la Tasa Estándar, es decir, el valor fijo del trabajo por hora, para el caso de los Recursos Humanos y el costo incurrido al usar un consumible, para el caso del papel y tinta, equipos de cómputo, escáner, impresora, servicio de energía eléctrica, internet, teléfono, revistas y documentos de investigación, que serán usados a medida que se complete cada fase del proyecto.

Recopilando toda esta información en el Software *Microsoft Office Project*®, se obtiene el Cuadro 16 mostrado a continuación:

Cuadro 16. Estimación de Costos.

Nombre del recurso	Tipo	Etiqueta de material	Iniciales	Grupo	Tasa estándar
Director de Proyecto	Trabajo		DP	RRHH	\$ 30.000,00/hora
Arquitecto	Trabajo		AI	RRHH	\$ 25.000,00/hora
Ingeniero Civil	Trabajo		IC	RRHH	\$ 25.000,00/hora
Ingeniero Eléctrico	Trabajo		IE	RRHH	\$ 15.000,00/hora
Ingeniero Industrial 1	Trabajo		I1	RRHH	\$ 10.000,00/hora
Ingeniero Industrial 2	Trabajo		I2	RRHH	\$ 10.000,00/hora
Ingeniero Industrial 3	Trabajo		I3	RRHH	\$ 10.000,00/hora
Equipo de Computo 1	Material	unidad	EC1	Equipo	\$ 304,03
Equipo de Computo 2	Material	unidad	EC2	Equipo	\$ 304,03
Revista Documental "EOLUS"	Material	unidad	RE	Material	\$ 70.000,00
Libro electrónico 1	Material	unidad	L1	Material	\$ 5.000,00
Libro Electrónico 2	Material	unidad	L2	Material	\$ 5.000,00
Escáner Canon MP190	Material	unidad	E	Equipo	\$ 304,03
Impresora Canon MP190	Material	unidad	I	Equipo	\$ 304,03
Papel Reprograf Carta 21.6 x 27.9 cm	Material	Resma	P	Material	\$ 7.500,00
Tinta Negro y Color Canon CL-31	Material	Cartucho	T	Material	\$ 72.000,00
Energía Eléctrica Electricaribe	Material	Hora.	EE	Equipo	\$ 304,03
Servicio de Telefonía Telefónica Telecom	Material	Min.	ST	Equipo	\$ 0,93
Servicio de Internet Telefónica Telecom	Material	unidad	SI	Equipo	\$ 62,50

4.5.3 Preparación del Presupuesto de Costos

Para el proyecto actual, el presupuesto de los costos se realizó mediante la herramienta propuesta por el PMI *Suma de costos*, en el cual *las estimaciones de costos de las actividades del cronograma se suman por paquetes de trabajo de acuerdo con la EDT. Las estimaciones de costos de los paquetes de trabajo luego se suman para los niveles superiores de componentes de la EDT, tales como las cuentas de control, y finalmente para todo el proyecto*¹⁸.

Dicha suma de costos se ha realizado empleando la herramienta de Gestión de Proyectos Microsoft Office Project ®. El método empleado fue el de prorrateo, que consiste en la asignación proporcional de los costos de cada componente y fase del proyecto, dependiendo de la cantidad de trabajo que deba realizarse para cada actividad y el costo de cada recurso implicado en la realización de la misma.

En el resultado arrojado por el software, se puede apreciar el costo para cada tarea, a la cual han sido asignados recursos, como puede verse en el Cuadro 16: Asignación de Recursos y, tomando como base la Tasa Estándar de cada uno, se suman todos los costos cargados para cada tarea, permitiendo conocer, a su vez, el costo total del proyecto, el cual aparece en la primera fila del Cuadro 17: Presupuesto del Proyecto, como se muestra a continuación:

¹⁸ PMI (2004). *Guía del PMBOK*. 3ra Edición. EE.UU, Pennsylvania. Capítulo 7, Pág. 169

Cuadro 17. Asignación de Recursos.

Nombre de tarea		Nombres de los recursos	
1	<input type="checkbox"/> Construcción de Celdas Eólicas		
2	<input type="checkbox"/> Project Management Plan		
3	Plan de Gestión de Integración	Director de Proyecto[10%].Equipo de Computo 1[1 unidad].Ingeniero Industrial 1[10%]	
4	Plan de Gestión del Alcance	Equipo de Computo 2[1 unidad].Ingeniero Industrial 2[10%]	
5	Plan de Gestión del Tiempo	Equipo de Computo 1[1 unidad].Ingeniero Industrial 3[10%]	
6	Plan de Gestión de Costos	Equipo de Computo 2[1 unidad].Ingeniero Industrial 1[10%]	
7	Plan de Gestión de Calidad	Equipo de Computo 1[1 unidad].Ingeniero Industrial 2[10%]	
8	Plan de Gestión de Recursos Humanos	Equipo de Computo 2[1 unidad].Ingeniero Industrial 3[10%]	
9	Plan de Gestión de Comunicaciones	Equipo de Computo 1[1 unidad].Ingeniero Industrial 1[10%]	
10	Plan de Gestión de Riesgos	Equipo de Computo 2[1 unidad].Ingeniero Industrial 2[10%]	
11	Plan de Gestión de Adquisiciones	Equipo de Computo 1[1 unidad].Ingeniero Industrial 3[10%]	
12	Project Management Plan Terminado		
13	<input type="checkbox"/> Ejecucion		
14	<input type="checkbox"/> Diseño de Celdas Eólicas		
15	Recopilación de la Información	Ingeniero Industrial 1[10%].Ingeniero Industrial 2[10%].Ingeniero Industrial 3[10%].Equipo de Computo 2[1 unidad].Libro electrónico 1[10%]	
16	Selección de Equipo de Proyecto	Director de Proyecto[10%].Ingeniero Industrial 1[10%].Ingeniero Industrial 2[10%].Ingeniero Industrial 3[10%]	
17	<input type="checkbox"/> Cimientos		
18	Realización de estudio de suelos	Ingeniero Civil[10%].Ingeniero Industrial 1[10%].Equipo de Computo 1[1 unidad].Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.]	
19	Realizar la excavación de las bases de la celda	Ingeniero Industrial 1[10%].Equipo de Computo 1[1 unidad].Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.]	
20	Armado del cimiento con varillas de acero	Ingeniero Industrial 1[10%].Equipo de Computo 1[1 unidad].Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.]	
21	Vertimiento del hormigón o concreto	Ingeniero Industrial 1[10%].Equipo de Computo 1[1 unidad].Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.]	
22	Fraguado del hormigón o concreto	Ingeniero Industrial 1[10%].Equipo de Computo 1[1 unidad].Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.]	
23	Inspección del estado de fraguado de las bases	Ingeniero Industrial 1[10%].Equipo de Computo 1[1 unidad].Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.]	
24	Cimientos Terminado		
25	<input type="checkbox"/> Diseño de la Torre		
26	Definir la forma de la torre	Ingeniero Industrial 2[10%].Equipo de Computo 2[1 unidad].Servicio de Internet Telefónica Telecom[1 unidad].Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.]	
27	Establecer el peso de la Torre	Ingeniero Industrial 2[10%].Equipo de Computo 2[1 unidad].Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.]	
28	Definir altura de la torre	Ingeniero Industrial 2[10%].Equipo de Computo 2[1 unidad].Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.]	
29	Establecer número de secciones de la torre	Ingeniero Industrial 2[10%].Equipo de Computo 2[1 unidad].Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.]	
30	Establecer diámetros de la torre en base y coron	Ingeniero Industrial 2[10%].Equipo de Computo 2[1 unidad].Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.]	
31	Definir material de construcción	Ingeniero Industrial 2[10%].Equipo de Computo 2[1 unidad].Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.]	
32	Realizar plano de la torre	Arquitecto[10%].Ingeniero Industrial 2[10%].Equipo de Computo 2[1 unidad].Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.]Papel Reprograf	
33	Diseño de Torre Terminado		

Nombre de tarea	Nombres de los recursos
34	
35	Ingeniero Industrial 3[10%],Equipo de Computo 1[1 unidad],Servicio de Internet Telefónica Telecom[1 unidad],Energía Eléctrica Elect
36	Ingeniero Industrial 3[10%],Equipo de Computo 1[1 unidad],Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.]
37	Ingeniero Industrial 3[10%],Equipo de Computo 1[1 unidad],Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.]
38	Arquitecto[10%],Ingeniero Industrial 3[10%],Equipo de Computo 1[1 unidad],Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.],Papel Reprograf
39	Diseño de rotor terminado
40	
41	Ingeniero Industrial 1[10%],Equipo de Computo 2[1 unidad],Servicio de Internet Telefónica Telecom[1 unidad],Energía Eléctrica Elect
42	Ingeniero Industrial 1[10%],Equipo de Computo 2[1 unidad],Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.]
43	Ingeniero Industrial 1[10%],Equipo de Computo 2[1 unidad],Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.]
44	Arquitecto[10%],Ingeniero Industrial 1[10%],Equipo de Computo 2[1 unidad],Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.],Papel Reprograf
45	Diseño de Aspas Terminado
46	
47	Ingeniero Eléctrico[10%],Equipo de Computo 1[1 unidad],Ingeniero Industrial 2[10%],Servicio de Internet Telefónica Telecom[1 unidad]
48	Ingeniero Industrial 2[10%],Equipo de Computo 1[1 unidad],Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.]
49	Ingeniero Industrial 2[10%],Equipo de Computo 1[1 unidad],Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.]
50	Ingeniero Industrial 2[10%],Equipo de Computo 1[1 unidad],Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.]
51	Arquitecto[10%],Ingeniero Industrial 2[10%],Equipo de Computo 1[1 unidad],Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.],Papel Reprograf
52	Diseño del Generador Terminado
53	
54	Ingeniero Industrial 1[10%],Ingeniero Industrial 2[10%],Ingeniero Industrial 3[10%],Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.],Equipo de C
55	Ingeniero Industrial 1[10%],Ingeniero Industrial 2[10%],Ingeniero Industrial 3[10%],Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.],Equipo de C
56	Ingeniero Industrial 1[10%],Ingeniero Industrial 2[10%],Ingeniero Industrial 3[10%],Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.],Equipo de C
57	Ingeniero Industrial 1[10%],Ingeniero Industrial 2[10%],Ingeniero Industrial 3[10%],Energía Eléctrica Electricaribe[1 Hora.],Equipo de C
58	Documento Guía Terminado
59	Ejecución Terminado
60	
61	Ingeniero Industrial 1[10%],Ingeniero Industrial 2[10%],Ingeniero Industrial 3[10%],Servicio de Telefonía Telefónica Telec
73	Ingeniero Industrial 1[10%],Ingeniero Industrial 2[10%],Ingeniero Industrial 3[10%],Equipo de Computo 2[1 unidad],Energía
85	Seguimiento y Control terminado
86	
87	Director de Proyecto[10%],Ingeniero Industrial 1[10%],Ingeniero Industrial 2[10%],Ingeniero Industrial 3[10%]
88	Director de Proyecto[10%],Ingeniero Industrial 1[10%],Ingeniero Industrial 2[10%],Ingeniero Industrial 3[10%]

Cuadro 18. Presupuesto de Costos.

	Nombre de tarea	Acumulación de costos	Costo total
1	▣ Construcción de Celdas Eólicas	Prorratio	\$ 3.360.919,71
2	▣ Project Management Plan	Prorratio	\$ 3.360.919,71
3	Plan de Gestión de Integración	Prorratio	\$ 128.304,03
4	Plan de Gestión del Alcance	Prorratio	\$ 24.304,03
5	Plan de Gestión del Tiempo	Prorratio	\$ 32.304,03
6	Plan de Gestión de Costos	Prorratio	\$ 24.304,03
7	Plan de Gestión de Calidad	Prorratio	\$ 24.304,03
8	Plan de Gestión de Recursos Humanos	Prorratio	\$ 16.304,03
9	Plan de Gestión de Comunicaciones	Prorratio	\$ 16.304,03
10	Plan de Gestión de Riesgos	Prorratio	\$ 16.304,03
11	Plan de Gestión de Adquisiciones	Prorratio	\$ 16.304,03
12	Project Management Plan Terminado	Prorratio	\$ 0,00
13	▣ Ejecucion	Prorratio	\$ 1.615.574,45
14	▣ Diseño de Celdas Eólicas	Prorratio	\$ 1.349.142,21
15	Recopilación de la Información	Prorratio	\$ 248.366,53
16	Selección de Equipo de Proyecto	Prorratio	\$ 144.000,00
17	▣ Cimientos	Prorratio	\$ 171.648,36
18	Realización de estudio de suelos	Prorratio	\$ 56.608,06
19	Realizar la excavación de las bases de la celda eólica	Prorratio	\$ 24.608,06
20	Armado del cimiento con varillas de acero	Prorratio	\$ 16.608,06
21	Vertimiento del hormigón o concreto	Prorratio	\$ 8.608,06
22	Fraguado del hormigón o concreto	Prorratio	\$ 56.608,06
23	Inspección del estado de fraguado de las bases	Prorratio	\$ 8.608,06
24	Cimientos Terminado	Prorratio	\$ 0,00
25	▣ Diseño de la Torre	Prorratio	\$ 196.497,95
26	Definir la forma de la torre	Prorratio	\$ 8.670,56
27	Establecer el peso de la Torre	Prorratio	\$ 24.608,06
28	Definir altura de la torre	Prorratio	\$ 16.608,06
29	Establecer número de secciones de la torre	Prorratio	\$ 8.608,06
30	Establecer diámetros de la torre en base y corona	Prorratio	\$ 24.608,06
31	Definir material de construcción	Prorratio	\$ 8.608,06
32	Realizar plano de la torre	Prorratio	\$ 104.787,09
33	Diseño de Torre Terminado	Prorratio	\$ 0,00

	Nombre de tarea	Acumulación de costos	Costo total
34	▣ Diseño del Rotor	Prorratio	\$ 206.673,77
35	Establecer peso del rotor	Prorratio	\$ 40.670,56
36	Definir el diámetro del rotor	Prorratio	\$ 24.608,06
37	Definir el número de aspas del rotor	Prorratio	\$ 8.608,06
38	Realizar el plano del Rotor	Prorratio	\$ 132.787,09
39	Diseño de rotor terminado	Prorratio	\$ 0,00
40	▣ Diseño de las Aspas	Prorratio	\$ 146.673,77
41	Establecer número de Aspas	Prorratio	\$ 8.670,56
42	Establecer Longitud de cada Aspa	Prorratio	\$ 16.608,06
43	Definir el peso de cada Aspa	Prorratio	\$ 16.608,06
44	Realizar el plano de las Aspas	Prorratio	\$ 104.787,09
45	Diseño de Aspas Terminado	Prorratio	\$ 0,00
46	▣ Diseño del Generador Eléctrico	Prorratio	\$ 235.281,83
47	Definir tipo de Generador Eléctrico	Prorratio	\$ 80.670,56
48	Establecer el peso del Generador	Prorratio	\$ 16.608,06
49	Establecer número de polos del Generador	Prorratio	\$ 8.608,06
50	Definir capacidad y potencia del Generador	Prorratio	\$ 24.608,06
51	Realizar plano del Generador Eléctrico	Prorratio	\$ 104.787,09
52	Diseño del Generador Terminado	Prorratio	\$ 0,00
53	▣ Documento Guía para el montaje	Prorratio	\$ 266.432,24
54	Plantear objetivo del documento	Prorratio	\$ 24.608,06
55	Establecer alcance del documento	Prorratio	\$ 48.608,06
56	Definir contenido del documento	Prorratio	\$ 144.608,06
57	Establecer temas del documento	Prorratio	\$ 48.608,06
58	Documento Guía Terminado	Prorratio	\$ 0,00
59	Ejecución Terminado	Prorratio	\$ 0,00
60	▣ Seguimiento y Control	Prorratio	\$ 1.350.608,99
61	▣ Reunion de Estado Semanal	Prorratio	\$ 687.000,93
73	▣ Reunión Táctica Semanal	Prorratio	\$ 663.608,06
85	Seguimiento y Control terminado	Prorratio	\$ 0,00
86	▣ Cierre	Prorratio	\$ 96.000,00
87	reunion de cierre del proyecto	Prorratio	\$ 48.000,00
88	cierre administrativo	Prorratio	\$ 48.000,00

4.5.4 Plan de Gestión de los Costos

Lo que se pretende con esta gestión es planificar las actividades que se van a desarrollar en este proyecto, para luego estimar cual sería el costo de dichas actividades y así presupuestar el costo total del mismo. Se identificarán todos los costos en los que incurrirá el proyecto mediante investigaciones a proveedores sobre el precio de insumos y artículos necesarios para desarrollar los entregables, y el presupuesto final será realizado por medio de la herramienta Microsoft Office Project ®, y en él serán asignados los costos a cada una de las actividades, arrojando como resultado el presupuesto total del proyecto.

Inmediatamente esté definido el alcance del proyecto se procederá a arrancar con la gestión de los costos, ya que el alcance permite al grupo de trabajo delimitar las actividades a realizar en el proyecto, y por ende el margen de los costos, permitiendo hacer buen uso del recurso económico.

4.6 GESTIÓN DE LA CALIDAD

Los procesos de Gestión de la Calidad del Proyecto incluyen todas las actividades de la organización ejecutante que determinan las políticas, los objetivos y las responsabilidades relativos a la calidad de modo que el proyecto satisfaga las necesidades por las cuales se emprendió. Implementa el sistema de gestión de calidad a través de la política, los procedimientos y los procesos de planificación de calidad, aseguramiento de calidad y control de calidad, con actividades de mejora continua de los procesos que se realizan durante todo el proyecto, según corresponda¹⁹.

Para el proyecto actual, se fijarán los estándares de calidad con que deberá cumplir el proyecto, para asegurar una total satisfacción de los interesados del mismo. Además, estos estándares permitirán que el proyecto no se desvíe en

¹⁹PMI (2004). **Guía del PMBOK**. 3ra Edición. EE.UU, Pennsylvania. Capítulo 8, Pág. 179

cuanto a costos y tiempo; y permiten que las fases cumplidas sean análogas con lo planeado. En otras palabras, mantener el proyecto en la línea de base establecida, para cumplir con los entregables del proyecto.

En la gestión de la calidad, se asignarán responsables a las diferentes actividades que se realizarán mientras transcurre el proyecto, con el fin de garantizar la satisfacción del cliente, mediante entregables que cumplan y sobrepasen sus requerimientos y expectativas.

4.6.1 Definiciones Básicas

A continuación, definiciones claves que permitirán a cualquier persona interesada en el proyecto documentarse claramente.

- **Calidad:** La calidad, visto desde el punto de vista del grupo de trabajo, es que el proyecto no se desfase en cuanto a lo planeado (costos, alcance, tiempo), y que los entregables sean desarrollados con todas las especificaciones propuestas en el plan de gestión del alcance.
- **Métrica de Calidad:** *Es una definición operativa que describe, en términos muy específicos, lo que algo es y cómo lo mide el proceso de control de calidad. Una medición es un valor real²⁰.*
- **Línea Base:** Es la idea principal que se propuso para el desarrollo del proyecto.
- **Acciones Correctivas:** Son todas aquellas actividades que se realizan una vez que se encuentran fallas, fracasos o no conformidades durante el tiempo de vida del proyecto, para reparar dichas no conformidades.
- **Acciones Preventivas:** Son todas las actividades realizadas teniendo en cuenta los posibles riesgos identificados del proyecto, para evitar al máximo la posibilidad de ocurrencia de los mismos.

²⁰ PMI (2004). **Guía del PMBOK**. 3ra Edición. EE.UU, Pennsylvania. Capítulo 8, Pág. 186

4.6.2 Planificación de la Calidad

Para el presente proyecto, se desarrolló un Brainstorming (Lluvia de ideas) en el cual los integrantes del Team del Proyecto propusieron objetivos a cumplir para garantizar y controlar el avance y la conformidad de los entregables del proyecto. Fue necesario establecer medidas cuantificables que permitieron al equipo de trabajo evaluar los entregables y mejorar todos aquellos aspectos que estén mermando de una u otra manera la calidad del proyecto. Se establecieron las métricas apropiadas de calidad acuerdo a cada objetivo definido por el grupo de trabajo, dichas métricas permiten evaluar el desempeño de los objetivos, también se estableció la frecuencia con la cual se realiza una revisión, ya que así se lleva el control de los objetivos del proyecto, asegurando la calidad del mismo. La frecuencia de revisión de las métricas de Calidad se realizará de forma semanal, ya que en este período de tiempo se realizan las reuniones de estado, y por ello, se deben entregar informes del avance del proyecto.

El Cuadro 19 contiene los objetivos, métricas y frecuencia de calidad del proyecto, identificados en el Brainstorming:

Cuadro 19. Métricas de Calidad

OBJETIVO	METRICAS	FRECUENCIA
Satisfacción de los Stakeholders	Número de reclamos por parte de los Stakeholders. Se identificaron como insatisfacción de Stakeholders: <ul style="list-style-type: none"> • Reclamos en cuanto a la entrega atrasada de un plano. • Reclamos relativos a la omisión de procedimientos para el montaje de celdas eólicas en el Documento Guía. • Reclamos procedentes del propósito del alcance del Documento Guía. 	Semanal
	Nivel de conformidad con el avance del proyecto. Escala de 1 a 10, donde 1 representa menor grado de conformidad y 10 el máximo valor. Se considera que existe una no conformidad cuando el plazo de finalización de una fase del proyecto, sea Project Management Plan, o Ejecución, supere un período de tiempo de diez (10) días después de lo estimado en la Gestión del Tiempo.	Semanal

<p>Elaboración de Planos de las Celdas Eólicas</p>	<p>% Completado en el tiempo establecido. Se considera una no conformidad al superar el tiempo de entrega de cada plano, si este sobrepasa dos días del tiempo estipulado.</p> <p>Se considera no conformidad, si los planos presentan la ausencia de medidas y especificaciones técnicas referentes a los componentes de las celdas eólicas.</p> <p>Se detecta no conformidad cuando alguno del (los) plano(s) de los componentes de las celdas eólicas no sea realizado.</p>	<p>Semanal</p>
<p>Documento Guía para el montaje de las Celdas Eólicas</p>	<p>% Completado del documento en el tiempo establecido (11 días). Si el tiempo de finalización del documento guía es entregado después de dos (2) días de lo planeado, se considera una no conformidad.</p> <p>Que los procedimientos para el montaje de las celdas eólicas estén descritos paso a paso en el documento guía. Nivel de conformidad en escala de 1 a 10, donde 1 es menor grado de conformidad y 10 el máximo valor.</p>	<p>Semanal</p>

4.6.2.1 Sistema de la Gestión de la Calidad

En la gestión de la calidad del proyecto "Diseño y Creación de Documento Guía para el montaje de Celdas Eólicas en la Ciudad de Cartagena de Indias", se contará con el apoyo de un arquitecto experimentado en realizar modelos en software especializados, para que realice los planos, tanto de los componentes de las celdas eólicas, como de la celda eólica en su totalidad.

Para garantizar la calidad de este proyecto, todos los ejecutores serán responsables del diseño planteado y del documento guía. Por tal razón se convocó periódicamente a reuniones de seguimiento al equipo de trabajo con el fin de asignar actividades y supervisar el avance de las mismas según conformidad, de acuerdo a lo previsto en la línea de base. Las reuniones fueron estimadas y programadas por medio de la herramienta Microsoft Office Project ®.

La gestión de la calidad se llevará a cabo desde el inicio del proyecto hasta la finalización del mismo con la recepción de los entregables a satisfacción del cliente, con el fin de cumplir todos los objetivos propuestos.

4.6.3 Aseguramiento de la calidad

La herramienta que se empleó para realizar el Aseguramiento de la Calidad fue un Brainstorming aplicado a los integrantes del Team del proyecto, éste se empleó para conocer las acciones requeridas para mantener los criterios de aceptación vigentes y actualizados durante la elaboración de los entregables. En éste plan de aseguramiento de la calidad se describirán los procesos que harán cumplir satisfactoriamente cada uno de los entregables, las actividades que se mencionarán tendrán aspectos a tener en cuenta para lograr la consecución de los objetivos que han sido trazados para Calidad, asignando también un período en el cual dichos aspectos serán revisados.

El Cuadro 20 muestra el Plan de Aseguramiento de la Calidad para el proyecto, como se describió anteriormente:

Cuadro 20. Plan de Aseguramiento de la Calidad

Plan de Aseguramiento de Calidad		
Actividad	Descripción	Frecuencia
Selección de Recurso Humano Idóneo	<p>Se evaluará en el mercado laboral Cartagenero los posibles aspirantes a desarrollar el proyecto de elaboración de diseños de celdas eólicas para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Que el personal contratado cuente con conocimientos de diseño en software especializado. • Seleccionar al director de proyectos idóneo que lleve a cabo la supervisión del proyecto, el cual debe tener las bases y conocimientos de la gerencia de proyectos. 	Durante la ejecución del proyecto.
Reuniones de estado de los entregables	<p>Se supervisará el avance de los entregables, por medio de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reuniones de estado y avance para identificar no conformidades y desvíos de la línea de base. • Seleccionando una persona encargada de evaluar los entregables y verificar que éstos cumplan con los estándares de calidad especificados. 	Semanal
Consecución de Información Documental	<p>Se evaluarán constantemente las fuentes de información, para asegurar que el grupo de trabajo cuente con documentos, tales como libros electrónicos y revistas documentales actualizados para elaborar los respectivos entregables.</p>	Mensual

Seguimiento	Se propondrá la realización de procesos de seguimiento que permitan la revisión y control del avance y criterios de aceptación de los entregables del proyecto. Éstas pueden ser realizadas por cualquiera de los tutores del Minor en Gestión de Proyectos.	Mensual
Selección de Recursos	Los recursos que serán destinados para el desarrollo de los entregables, ya sean los planos y el documento guía, deberán estar disponibles en el momento en que la ejecución del proyecto lo requiera, de tal manera que se haya planeado la disposición de dichos recursos al momento de su utilización.	Quincenal

4.6.4 Control de Calidad

El control de la calidad para el presente proyecto fue realizado utilizando nuevamente una lluvia de ideas que permitieron identificar cuáles eran los entregables del proyecto con sus respectivas descripciones y especificaciones en cuanto a calidad se refiere, se ha establecido un nivel de calidad, el cual consta de tres grados: Bajo (B), Medio (M) y Alto (A), dicho nivel permitirá establecer que tan importante es el estándar. El estándar de calidad antes mencionado hace referencia a las medidas y requisitos que debe cumplir el entregable a fin de asegurar el plan de calidad establecido, arrojando como resultado la información ordenada en el Cuadro 21:

Cuadro 21. Control de la Calidad

Control de Calidad										
Requerimiento del Proyecto	Entregable del Proyecto	Criterio de Calidad	Estándares de Calidad	Nivel de Calidad (B/M/A)						
Diseño de Celdas Eólicas	Planos de los componentes de celdas eólicas y celdas eólicas completas.	Todos los planos tienen las especificaciones pertinentes que debe cumplir cada uno de los componentes que contiene el diseño.	<ul style="list-style-type: none"> • Debe ser modelado en software especializado en diseños gráficos. • En el tiempo presupuestado deben realizarse TODOS los planos. 	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> </table>			X			X
		X								
		X								

Documento Guía para el montaje de celdas eólicas	Documento que contenga la información necesaria para el montaje de celdas eólicas en Cartagena de Indias.	<ul style="list-style-type: none"> • El documento contenga la serie de pasos a realizar para ensamblar cada uno de los componentes que integra el diseño de las celdas eólicas. • Debe mostrar las especificaciones técnicas de cada uno de los componentes de los respectivos diseños. 	<ul style="list-style-type: none"> • El tiempo de realización del documento no supere el tiempo acordado en la planeación. • El documento debe ajustarse a las condiciones plasmadas en el alcance del proyecto 		X	X
---	---	---	---	--	----------	----------

El plan de Control de Calidad definido por el grupo de trabajo para el proyecto, es resumido en el Cuadro 22, que muestra las actividades incluidas en dicho plan, y una breve descripción que proporciona una idea de lo que se realizará para obtener la calidad deseada en dicha actividad, además de la frecuencia establecida para revisión:

Cuadro 22. Plan de Control de la Calidad

Plan de Control de Calidad		
Actividad	Descripción	Frecuencia
Revisión del Auditor	<ul style="list-style-type: none"> • El auditor revisará cada paquete de trabajo que conforman los entregables. • A cada integrante se le asignará una fase del proyecto, de la cual deberá realizar la respectiva sustentación del avance. • El Team del proyecto documentará cada auditoría y comunicará los resultados al gerente de proyectos. 	Semanalmente
Revisión de Hitos	<ul style="list-style-type: none"> • Al terminar cada paquete de trabajo del proyecto, se establecerá un hito que será revisado con el fin de evaluar si está marchando o no de acuerdo a lo planeado. • La gerencia debe supervisar los hitos y realizar los informes para ser analizados con el grupo de trabajo para la aprobación del mismo. 	Al terminar cada paquete de trabajo

4.6.5 Plan de Gestión de la Calidad

Para la Gestión de la calidad, se ejecutarán actividades, de tal manera que se logren los objetivos propuestos para los criterios de aceptación fijados y definidos para cada entregable del proyecto. En primera instancia, se planificará la gestión de la calidad, definiendo las métricas para cada entregable, las cuales permiten al grupo de trabajo conocer el rendimiento de los objetivos, planteando el nivel de satisfacción necesario para cada objetivo. Luego, se procede a desarrollar el plan de Aseguramiento de la Calidad, que permite hacer una descripción de las actividades necesarias para llevar el seguimiento de la calidad a lo largo del proyecto.

Lo anterior se realizará empleando técnicas que permitirán establecer los parámetros que serán tomados como insumo para consolidar el plan de la calidad, donde se incluyen la planeación de la calidad, el plan de aseguramiento de la calidad y control de la calidad. Dicha técnica será el Brainstorming (Lluvia de ideas), ya que esta permite extraer de un grupo de trabajo, ideas claves que pueden contribuir a la solución de los problemas que tengan efecto sobre la calidad del proyecto. Dichas ideas serán ordenadas en Cuadros para el mayor manejo y entendimiento de la información.

El plan de Gestión de la calidad se iniciará paralelamente al Plan de Gestión del Alcance, Tiempo y Costo, debido a que es necesario definir los criterios de calidad del proyecto desde que comienza la planeación del resto de áreas de conocimiento mencionadas anteriormente, para evitar incongruencias que desvíen los criterios de calidad que están dentro del presupuesto, tiempo establecido y el alcance del proyecto.

4.7 GESTIÓN DEL RECURSO HUMANO

El propósito de esta gestión es recurrir al personal mejor capacitado en el mercado laboral en la ciudad de Cartagena de Indias para desarrollar con excelencia y calidad el proyecto propuesto, mediante la identificación de cada uno de los roles y responsabilidades que tiene cada integrante en el proyecto, para concluir el mismo en buen término.

4.7.1 Definiciones

OBS: Es la estructura de desglose de la organización. Está ordenada según los departamentos, las unidades o los equipos existentes de una organización.

Stakeholders: Todos aquellos interesados directa o indirectamente en el proyecto.

4.7.2 Planificación de los Recursos Humanos

Para este proyecto, una reunión del grupo de trabajo será la que definirá cual va a ser el personal que integrará el grupo de gestión de proyectos, el cual debe ser el indicado para desarrollar las tareas implicadas en un ambiente propicio. La selección del personal será realizada por el grupo de investigación, el cual tiene conocimiento acerca de las competencias de formación que deben tener cada integrante del proyecto.

Una vez reunidos se definieron las competencias que debe tener cada uno de los integrantes:

- **Director de proyectos**, quien con sus conocimientos deberá guiar al Team para concluir el proyecto exitosamente dentro del alcance, tiempo, presupuesto y calidad establecidos. Este debe ser titulado como Ingeniero Industrial, Ingeniero Eléctrico o Ingeniero Mecánico.

- **Ingeniero Industrial (3) ó Grupo de Trabajo**, el cual debe tener conocimientos en análisis de procesos, metodologías y administración de recursos.
- **Arquitecto**, quien debe estar capacitado para la realización de planos en software especializado para tal fin.
- **Ingeniero Eléctrico**, quien debe tener conocimientos básicos en los aspectos técnicos de las celdas eólicas.
- **Ingeniero Civil**, quien debe tener conocimientos en estudio de suelos y bases de cimentación.

4.7.2.1 Herramientas para la Planificación del Recurso Humano

Se pueden mencionar distintas herramientas para realizar la planificación del recurso humano, entre ellas se encuentran: Diagramas de Tipo Jerárquico, Diagramas basados en una matriz, Formatos orientados al texto, entre otros. Para el presente proyecto se optó por emplear un diagrama de tipo jerárquico, que en este caso será la estructura de desglose de la organización (OBS) que permitió jerarquizar o estructurar los cargos para el desarrollo del proyecto.

La Figura 7, que describe la OBS del proyecto, fue conformada por medio de las herramientas Microsoft Office Project ® y WBS Chart Pro, ya que estas permiten realizar un desglose de las actividades y responsabilidades que deberá asumir cada integrante del proyecto. Las casillas que aparecen en rojo son los integrantes del equipo del proyecto, mientras que las azules hacen referencia a las actividades que deben desempeñar cada uno de las personas anteriormente mencionadas.

El director de Proyecto es la principal autoridad dentro de la organización del proyecto, éste deberá guiar al Grupo de Trabajo, y apoyar con sus conocimientos la realización del mismo. Es él quien evalúa el trabajo desempeñado por el Team. Seguido a éste, se encuentra el Team del Proyecto, quien ejecuta las actividades necesarias para coordinar y gestionar la realización de los entregables, por último

pero no menos importante aparecen el Ingeniero Civil, Ingeniero Eléctrico y el Arquitecto, quienes dependen del Team del Proyecto, debido a que los requerimientos del Equipo son la base que necesitan para el inicio de sus actividades. A continuación se muestra la Figura 7:

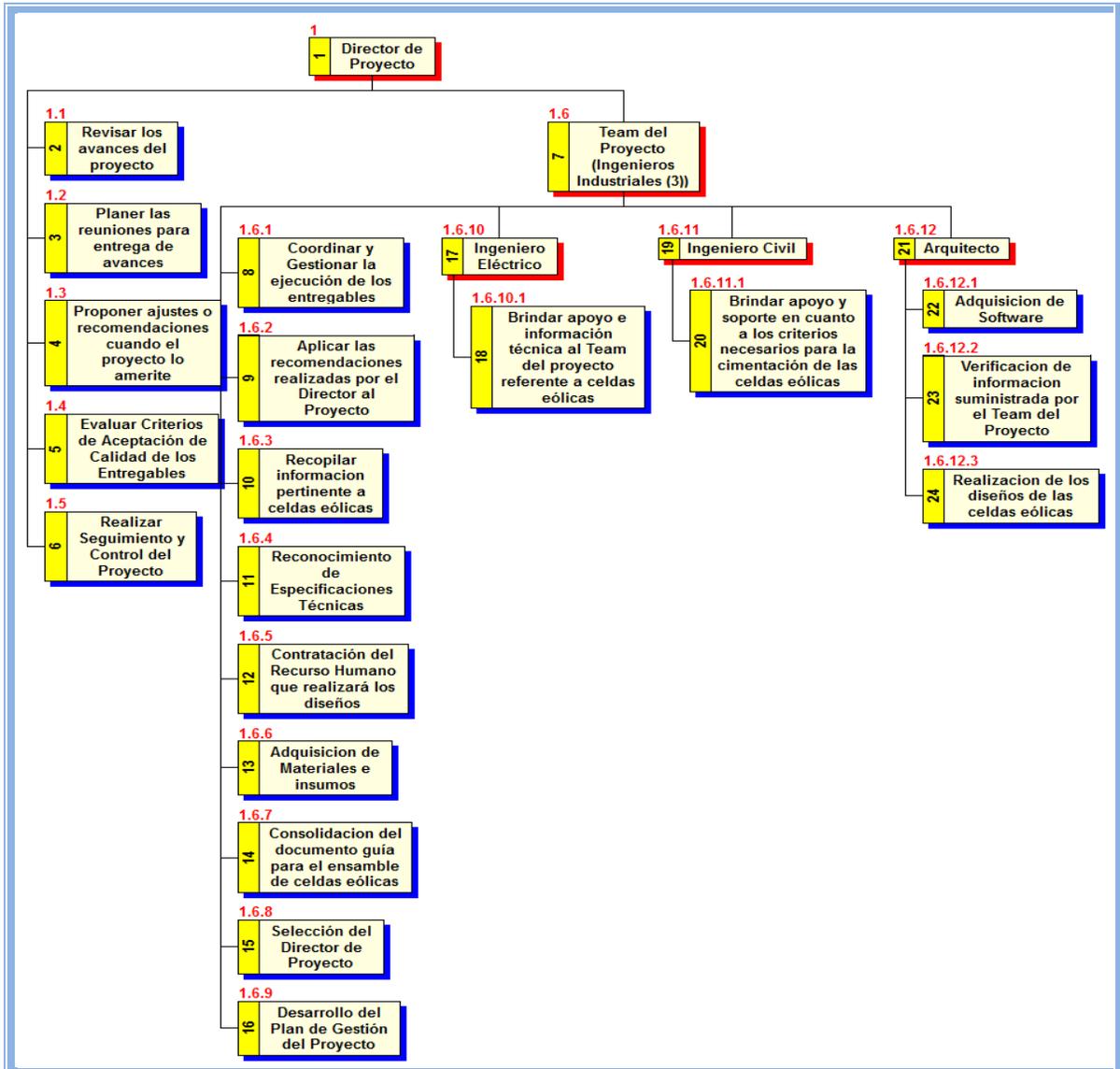


Figura 7. Estructura de desglose de la Organización.

4.7.2.2 Plan de Gestión de Personal

Para el actual proyecto, el ciclo del talento humano se programa semanalmente, colocando al personal que va a trabajar en una semana específica, y luego, la

semana siguiente se programan nuevas entradas de personal, para rotar sus funciones y permitir la retroalimentación del resto del trabajo que se está desarrollando. El personal que hará parte del proyecto, será requerido al iniciar el proyecto, de tal manera que se puedan pactar las condiciones de trabajo que demanda el mismo, esto es, para cumplir con la planificación que permita finalizar el proyecto en el alcance, tiempo y costo presupuestados.

4.7.3 Herramientas para Adquirir el Equipo del Proyecto

Existen diversidad de herramientas para la adquisición del personal del proyecto, entre ellas se pueden mencionar: Asignación Previa, Negociación, Adquisición y Equipos Virtuales.

Para el actual proyecto se ha seleccionado la *Asignación Previa*, ya que se había determinado desde antes que el Minor en Gestión de Proyectos 2009 comenzara, que los tres ingenieros industriales que hacen parte del Team del Proyecto realizarían este trabajo en conjunto. El Ingeniero Civil, Ingeniero Eléctrico y el Arquitecto ya conocía la propuesta presentada por el grupo de trabajo pero no se había definido si ellos haría parte del grupo del proyecto, luego de conocer que se realizaría el presente proyecto, se contactó con el mencionado anteriormente para incluirlo dentro del grupo del proyecto.

El Director de Proyecto fue seleccionado entre varios candidatos tenidos en cuenta, escogiendo a un Ingeniero Industrial para la realización de este proyecto.

Para el caso de la contratación del El Ingeniero Civil e Ingeniero Eléctrico, que guiaron al Team del Proyecto a la elaboración del Documento Guía y el Arquitecto encargado de la realización de los planos, se empleó la herramienta de *Adquisición* la cual se usa *cuando la organización ejecutante carece del personal interno necesario para concluir el proyecto, los servicios requeridos pueden adquirirse de fuentes externas*. Lo anterior debido a que el Team del Proyecto no

tenía conocimientos sobre modelamiento gráfico en software especializado que permitiera la elaboración del entregable de planos que requería el proyecto.

4.7.4 Herramientas para Desarrollar el Equipo del Proyecto

Se han identificado, según la metodología del PMI, diferentes herramientas que permiten desarrollar el equipo del proyecto, entre las cuales se clasifican: Habilidades de Dirección General, Formación, Actividades de Desarrollo de Equipos, Reglas Básicas, entre otros.

Para el actual proyecto, la herramienta a utilizar será *Las actividades de desarrollo de equipos*, ya que estas constan básicamente de reuniones que pueden variar desde un punto del orden del día. Debido a que el proyecto tiene como propuesta varias reuniones de estado semanal, se plantea la interacción entre el Grupo del Proyecto para socializar y conocer aspectos de las personas a tener en cuenta a la hora de relacionarse con ellas, de tal manera que el trabajo en equipo permita ejecutar las actividades con mayor eficacia.

4.7.4 Plan de Gestión de Recurso Humano

Para este proyecto, la selección del personal idóneo para el desarrollo de las actividades comprometidas en el mismo es muy importante, ya que el recurso humano es el motor que da movimiento al desarrollo del proyecto. El recurso humano del cual se dispondrá será un equipo capacitado para todo lo que requiera el proyecto, con experiencias en gestión de proyectos y se tendrá a manera de apoyo, personal con conocimientos en energía eólica, que aporten al desarrollo del proyecto.

Antes de ejecutar cualquier actividad dentro del proyecto, es necesario establecer cuál va a ser el personal capacitado y autorizado para dar comienzo al proyecto.

4.9 GESTIÓN DE LAS COMUNICACIONES

La Gestión de las Comunicaciones del Proyecto es el Área de Conocimiento que incluye los procesos necesarios para asegurar la generación, recogida, distribución, almacenamiento, recuperación y destino final de la información del proyecto en tiempo y forma. Los procesos de Gestión de las Comunicaciones del Proyecto proporcionan los enlaces cruciales entre las personas y la información, necesarios para unas comunicaciones exitosas. Los directores de proyectos pueden invertir una cantidad excesiva de tiempo comunicándose con el equipo del proyecto, los interesados, el cliente y el patrocinador. Todas las personas involucradas en el proyecto deben comprender cómo afectan las comunicaciones al proyecto como un todo²¹.

4.8.1 Definiciones

- **Reunión Táctica Semanal:** Esta reunión permite planear y trazar las estrategias a seguir por el Grupo del Proyecto para la finalización del mismo.
- **Reunión de Estado Semanal:** Esta reunión permite informar a los Stakeholders del proyecto sobre el avance y desarrollo del mismo.
- **Actas de Reunión:** Es un documento que permite plasmar toda la información expuesta en las reuniones, compromisos pactados y sus asistentes.
- **Informe de Avances:** Son las entregas periódicas del proyecto que se hacen al gerente de proyecto.
- **Servicios Telefónicos:** Incluyen teléfonos celulares y fijos.

4.8.2 Planificación de las Comunicaciones

En la ejecución de este proyecto se realizarán reuniones tanto tácticas, como de estado semanales, además cualquiera que se pueda presentar según necesidad,

²¹ PMI (2004). **Guía del PMBOK**. 3ra Edición. EE.UU, Pennsylvania. Capítulo 10, Pág. 221

para las cuales deben de estar presente todo el equipo de trabajo. En estas reuniones se debe levantar un Acta de Reuniones (Ver Anexo 2) que indique las personas que asistieron con sus respectivas firmas, temas tratados y compromisos.

Además se realizaran informes de avances escritos por el grupo de trabajo, los cuales serán entregados vía e-mail al Director de proyecto para retroalimentar la información al resto de interesados en el proyecto para que éste sea revisado y aprobado por el Director de Proyecto.

Toda la información suministrada por cualquiera de los integrantes del grupo de trabajo deberá ser difundida vía e-mail o documento físico, bajo previa verificación de la información.

4.8.2.1 Identificación de los Interesados

Externos

Definidos en el Acta de Constitución del Proyecto, se han identificado: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Min Ambiente), Autoridades Ambientales Locales (EPA, CARDIQUE), Empresas Electrificadoras, Inversionistas y/o Sponsors del proyecto.

Internos

En la ejecución de este proyecto, el Director junto al Team del Proyecto deberán inicialmente documentarse acerca de las especificaciones que debe tener todo proyecto de esta índole, teniendo en cuenta fuentes de información pertinente, con el objetivo de suministrar a cualquiera de los stakeholders un diseño y documento guía para el ensamble de las celdas eólicas que permita conocer las características generales de este proyecto. Para esto, el Team se apoyará con el Ingeniero Eléctrico, Ingeniero Civil y el Arquitecto. Toda la información referente al proyecto se dará a conocer en las reuniones programadas durante la ejecución del proyecto.

4.8.3 Herramientas para la planeación de las Comunicaciones

Para efectos del actual proyecto, se seleccionó la herramienta *Tecnologías de Comunicaciones*; una de las sugeridas por el PMI para planear la gestión de las comunicaciones. Se seleccionó esta, *debido a que presenta variabilidad en las distintas formas en las que se pueden distribuir la información que requieren los interesados del proyecto*²².

En el presente proyecto se deben tener en cuenta factores de tecnologías de comunicaciones que podrían afectar el éxito del mismo, entre esos se puede mencionar la ***duración del proyecto***, ya que la metodología que se eligió para informar a los interesados pueda cambiar debido a la disponibilidad de tiempo. Otro factor es el ***entorno del proyecto***, puesto que aquí se define si el grupo del proyecto tiene contacto directo (cara a cara) o indirecto (virtual) para llevar a cabo la planeación y ejecución del proyecto, ya sea mediante correos electrónicos o vía telefónica.

4.8.3.1 Métodos de Comunicación

Para la comunicación con los interesados externos del proyecto se han programado Reuniones de Estado, con el fin de dar a conocer las actualizaciones que se generan durante la ejecución del proyecto, además se podrán realizar reuniones según requerimiento y disponibilidad de los interesados; Cualquiera que sea el caso debe quedar registrado un acta de reunión (Ver Anexo 2). Para efectos de tales reuniones las convocatorias serán formales - escritas, además cualquier manejo y/o requerimiento de información que sea solicitada debe ser suministrada al interesado, ya sea por medio magnético y/o impreso.

²² PMI (2004). **Guía del PMBOK**. 3ra Edición. EE.UU, Pennsylvania. Capítulo 10, Pág. 227.

Para el caso de los interesados internos se han programado Reuniones Tácticas, con el fin de generalizar la información de ejecución del proyecto con el grupo de trabajo, además de las programadas también se pueden realizar de acuerdo a eventualidades y/o situaciones que se presenten; Al igual que en las reuniones de estado debe quedar registrado un acta de reunión. La convocatoria e información para esta puede darse por distintos medios de información: Servicios Telefónicos, Servicio de Internet y Servicio de mensajería en caso de no contar con la disponibilidad de los antes mencionados, los cuales serán utilizados según necesidad y disponibilidad en cualquier instante de tiempo que se requiera. Todo tipo de información deberá ser suministrada, priorizando los medios según los tiempos e importancia del suministro de la información.

Por medio de Microsoft Project, se realizó la programación de las reuniones Tácticas y las de Estado, La Figura 8 describe las reuniones que han sido programadas, además se muestra la duración de cada una de ellas y cuántas son en su totalidad. Cabe resaltar que las reuniones de estado se programaron para los días lunes de cada semana mientras dure el proyecto y las tácticas para los días viernes:

1.1.12	☐ Seguimiento y Control	26,38 días
1.1.12.1	☐ Reunion de Estado Semanal	26,38 días
1.1.12.1.1	Reunion de Estado Semanal 1	2 horas
1.1.12.1.2	Reunion de Estado Semanal 2	2 horas
1.1.12.1.3	Reunion de Estado Semanal 3	2 horas
1.1.12.1.4	Reunion de Estado Semanal 4	2 horas
1.1.12.1.5	Reunion de Estado Semanal 5	2 horas
1.1.12.1.6	Reunion de Estado Semanal 6	2 horas
1.1.12.1.7	Reunion de Estado Semanal 7	2 horas
1.1.12.1.8	Reunion de Estado Semanal 8	2 horas
1.1.12.1.9	Reunion de Estado Semanal 9	2 horas
1.1.12.1.10	Reunion de Estado Semanal 10	2 horas
1.1.12.1.11	Reunion de Estado Semanal 11	2 horas
1.1.12.2	☐ Reunión Táctica Semanal	25,38 días
1.1.12.2.1	Reunión Táctica Semanal 1	2 horas
1.1.12.2.2	Reunión Táctica Semanal 2	2 horas
1.1.12.2.3	Reunión Táctica Semanal 3	2 horas
1.1.12.2.4	Reunión Táctica Semanal 4	2 horas
1.1.12.2.5	Reunión Táctica Semanal 5	2 horas
1.1.12.2.6	Reunión Táctica Semanal 6	2 horas
1.1.12.2.7	Reunión Táctica Semanal 7	2 horas
1.1.12.2.8	Reunión Táctica Semanal 8	2 horas
1.1.12.2.9	Reunión Táctica Semanal 9	2 horas
1.1.12.2.10	Reunión Táctica Semanal 10	2 horas
1.1.12.2.11	Reunión Táctica Semanal 11	2 horas

Figura 8. Reuniones Programadas para la Comunicación del Proyecto.

La comunicación con los proveedores del proyecto es fundamental, Esta puede ser: Por contacto directo, visitando al proveedor y por medio de pedidos telefónicos; pero todas las compras que se realicen deben de estar soportadas por su respectiva orden de compra aprobada por el gerente del proyecto donde se establezcan todos los requerimientos y precios pactados, para conformar una lista que permita conocer qué debe ser solicitado al proveedor y cuándo.

4.8.4 Distribución de la Información

Para el presente proyecto, se establecieron los diferentes métodos por medio de los cuales se comunicará al Grupo del Proyecto toda la información de interés recopilada para el desarrollo de los entregables y documento guía para el ensamble de las celdas eólicas. Dichos métodos recomendados por la metodología del PMI pueden ser: Habilidades de comunicación, Sistemas de

recopilación de información, Métodos de distribución de la información y Proceso de lecciones aprendidas.

4.8.4.1 Herramienta para la Distribución de la información

La herramienta seleccionada para la distribución de la información del presente proyecto ha sido *Habilidades de comunicación*, las cuales son parte de las habilidades de dirección general y se usan para intercambiar información. Las habilidades de dirección general relacionadas con las comunicaciones incluyen asegurarse de que las personas correctas reciban la información que corresponda en el momento adecuado.

La comunicación tanto interna como externa para el proyecto será desarrollada por medio Oral y Escrito, involucrando a todo el Grupo del Proyecto. Se comunicará oralmente parte de la información debido al contacto directo entre el Grupo de Proyectos y los interesados, esto puede llevarse a cabo durante las Reuniones de estado semanal que fueron programadas. Además de la planeación por parte del grupo de proyectos de todas las actividades concernientes a la ejecución del mismo. De manera escrita se rendirán los informes o documentos referentes al desarrollo, indicando que se está planeando ó que se ha finalizado una fase del proyecto.

Para la recopilación de la información existen varios medios los cuales permiten la obtención de la información, ya sea desde una base de datos electrónica, libros, artículos documentales, y aquellos sistemas que permiten obtener todos los datos técnicos que el proyecto requiera. Para el actual proyecto se ha tomado información de documentos en la web referente a Celdas Eólicas publicados por compañías constructoras y experimentadas en el tema. También se ha recopilado información de bases de datos y revistas documentales que permiten guiar al Team del Proyecto en la creación de los diseños y el documento guía para el ensamble de las celdas eólicas.

Una vez se ordene esta información, se procederá a enviarla a sus respectivos interesados vía e-mail toda la información referente a medidas, acotaciones y especificaciones técnicas de las celdas eólicas, dicha información será transmitida al Arquitecto para que éste proceda a elaborar los respectivos planos en el Software; por otra parte, la información técnica del funcionamiento de las celdas eólicas será enviada al Ingeniero Eléctrico para que éste determine si las especificaciones planteadas se ajustan a los criterios de aceptación del proyecto.

4.8.5 Plan de Gestión de las Comunicaciones

Se mantendrá dentro del proyecto un flujo constante de información, en el cual haya cabida para la retroalimentación del estado del proyecto, dicho flujo será mantenido entre el Grupo del proyecto y los interesados en el mismo, con el fin de que todas las necesidades que tengan los interesados sean tenidos en cuenta para aplicar en el proyecto.

También permitirá obtener la información que necesita el grupo de trabajo concerniente al diseño y documento guía para el ensamble de las celdas eólicas, en el instante en que estas personas lo requieran, y la manera en que será distribuida con el fin de aprovechar al máximo el recurso.

La información requerida por el grupo de trabajo será adquirida mediante la investigación en internet de corporaciones que hayan adelantado trabajos referentes a celdas eólicas, además de la obtención de revistas documentales y libros electrónicos (e-books), los cuales serán distribuidos a cada uno de los integrantes vía correo electrónico, para que dispongan de la información cada vez que sea necesario. Con los Stakeholders se programarán reuniones semanales, en las cuales se les informará acerca del avance y estado actual del proyecto, tanto escrita como oral se presentará la comunicación para tener contacto directo con los mismos, de tal manera que se apliquen las sugerencias que ellos recomienden.

4.9 GESTIÓN DE LOS RIESGOS

La Gestión de los Riesgos del Proyecto incluye los procesos relacionados con la planificación de la gestión de riesgos, la identificación y el análisis de riesgos, las respuestas a los riesgos, y el seguimiento y control de riesgos de un proyecto; la mayoría de estos procesos se actualizan durante el proyecto. Los objetivos de la Gestión de los Riesgos del Proyecto son aumentar la probabilidad y el impacto de los eventos positivos, y disminuir la probabilidad y el impacto de los eventos adversos para el proyecto²³.

4.9.1 Definiciones

- **Riesgo:** Es un evento o condición incierto que, si se produce, tiene un efecto positivo o negativo sobre al menos un objetivo del proyecto, como tiempo, costo, alcance o calidad.
- **RBS:** Risk Breakdown Structure, Estructura de Desglose de los Riesgos, esta permite visualizar los riesgos que aplican a los entregables del proyecto.

4.9.2 Herramientas para la Planificación de Gestión de Riesgos

Las estrategias y metodologías que serán empleadas por todas aquellas personas interesadas en el proyecto y que puedan identificar los riesgos relacionados con el mismo, se pueden analizar mediante herramientas que encuentren las causas que originan riesgos que puedan intervenir con el éxito del proyecto.

La herramienta utilizada para el levantamiento de la información relativa a los Riesgos del actual proyecto, es la Reunión de Planificación y análisis, que son aquellas donde los equipos del proyecto se reúnen para desarrollar el plan de gestión de riesgos.

²³ PMI (2004). **Guía del PMBOK**. 3ra Edición. EE.UU, Pennsylvania. Capítulo 11, Pág. 237.

Dentro de las reuniones a realizar, se aplicará un Brainstorming en el cual podrán intervenir todos los interesados en el proyecto (Stakeholders), donde cada persona propondrá las ideas pertinentes que puedan transformarse en riesgos potenciales para el proyecto. Después de haber realizado el Brainstorming, se conformará un cuadro en la cual quedarán escritos aquellos riesgos identificados por parte del grupo, como están clasificados y su respectiva ocurrencia en cuanto a tiempo.

4.9.3 Identificación de riesgos

La identificación de riesgos para el presente proyecto fue realizado por medio de un juicio de expertos, entre ellos se pueden mencionar al Ingeniero Wilbert. J Nivia (PMP Consultant Senior) y al Ingeniero Javier Valbuena (Coordinador Seguridad IT), quienes sirvieron de Tutores del Minor en Gestión de Proyectos, los cuales evaluaron el proyecto e identificaron los riesgos relacionados con este, para guiar al Team del proyecto de tal manera que se obtenga la estructura de desglose de riesgos (RBS) en el cual se tendrán los riesgos encontrados.

Para realizar la identificación de los riesgos se tuvieron en cuenta dos partes, que representan los entregables del proyecto, una es la parte del Diseño de las Celdas eólicas y otra es el Documento guía para su ensamble. La numeración dada por el software Microsoft Office Project® permite diferenciar los dos componentes, siendo 1.1 el Diseño y 1.2 el Documento guía, de los cuales se desglosan los riesgos relacionados con cada uno. La Figura 9 muestra lo mencionado anteriormente:

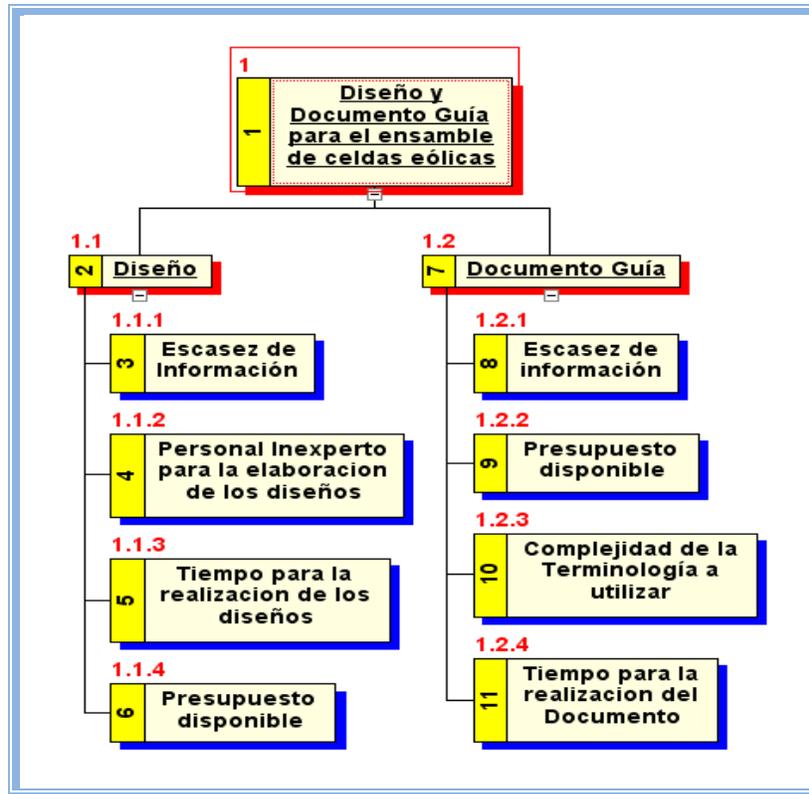


Figura 9. RBS, Estructura de Desglose de Riesgos.

4.9.4 Análisis Cualitativo de los Riesgos

Para el actual proyecto se procede a clasificar cada uno de los riesgos anteriormente identificados y asignarle a cada uno un peso y una probabilidad de ocurrencia y frecuencia. Los siguientes Cuadros (22, 23 y 24) muestran la Probabilidad de Ocurrencia, el impacto y la Frecuencia de Ocurrencia que pueden presentar los riesgos del proyecto, respectivamente.

Para los cuadros siguientes se ha determinado una categorización (Alta, Media y Baja) para la probabilidad y el impacto de la ocurrencia de los riesgos, además se especifican el intervalo de tiempo en el que puede ocurrir lo riesgo. También se describe una breve interpretación de las características mencionadas.

Cuadro 23. Probabilidad de Ocurrencia de los Riesgos del Proyecto.

Probabilidad de Ocurrencia	Interpretación
Alta	Muy probable que ocurra, basado en las circunstancias del proyecto.
Media	Existe una probabilidad de que ocurra
Baja	Improbable que ocurra, basado en la información actual. Las circunstancias que originan la ocurrencia de este riesgo son improbables

Cuadro 24. Impacto de Ocurrencia de los Riesgos del Proyecto.

Impacto	Interpretación
Alto	Impacto significativo sobre el proyecto, es decir, entre 10% y 25% de desviación del alcance, fecha final del cronograma o presupuesto del proyecto
Medio	Impacto medible sobre el proyecto, es decir, entre 5% y 10% de desviación en el alcance, fecha final del cronograma o presupuesto del proyecto
Bajo	Impacto menor sobre el proyecto, es decir, < 5% desviación en el alcance, fecha final del cronograma o presupuesto del proyecto

Cuadro 25. Frecuencia de Ocurrencia de los Riesgos del Proyecto.

Frecuencia de ocurrencia	Observaciones
Nunca	Se desconoce de la presencia de dicho riesgo o no se conocen antecedentes del mismo.
Semanal	La ocurrencia de la amenaza tiene un nivel significativo y se deben plantear medidas que permitan administrarla a corto plazo.
Mensual	La ocurrencia de la amenaza tiene un nivel moderado y se deben plantear medidas que permitan administrar el riesgo asociado en el mediano plazo en función del posible impacto generado.

La anterior información y plantillas fue el resultado de la asesoría brindada durante el Minor en Gestión de Proyectos por el Ingeniero Javier Valbuena, quien fue el encargado de la revisión de la Gestión de Riesgos del actual proyecto.

4.9.5 Análisis Cuantitativo de Riesgos

Existen diversas herramientas por medio de las cuales se puede realizar el Análisis Cuantitativo de los Riesgos, entre ellas se pueden mencionar: Entrevistas, Distribuciones de Probabilidad y Juicio de Expertos.

Para el presente proyecto, se tuvieron en cuenta las entrevistas y el juicio de expertos para la recopilación de los datos que permitan materializar el puntaje de cada categoría (Baja, Alta, Media) tomada en consideración para el caso de la Impacto y Probabilidad de Ocurrencia de los Riesgos.

El Cuadro 26 contiene el Rango de Puntaje asignado a cada probabilidad de ocurrencia y de impacto para los riesgos del proyecto.

Los Cuadros 27 y 28 contienen el análisis cuantitativo de los riesgos para la probabilidad e impacto de ocurrencia, estos describen el rango en el cual se encuentran los niveles (Alto, Medio y Bajo), estableciendo una escala de valores para los puntajes. La escala que se determinó fue la siguiente:

Cuadro 26. Cuantificación de las probabilidades, impacto y frecuencia de ocurrencia.

Puntaje	Interpretación
0 – 30	Es el rango para nivel Bajo en el caso de las probabilidades e impacto y nunca de frecuencia de ocurrencia.
31 – 60	Es el rango para nivel Medio en el caso de las probabilidades e impacto y nunca de frecuencia de ocurrencia.
61 – 100	Es el rango para nivel Alto en el caso de las probabilidades e impacto y nunca de frecuencia de ocurrencia.

Cuadro 27. Puntaje de Probabilidad de Ocurrencia de los Riesgos del Proyecto.

Probabilidad de Ocurrencia	Puntaje	Interpretación
Alto	75	Muy probable que ocurra, basado en las circunstancias del proyecto.
Medio	40	Existe una probabilidad de que ocurra
Bajo	15	Improbable que ocurra, basado en la información actual. Las circunstancias que originan la ocurrencia de este riesgo son improbables

Cuadro 28. Puntaje del Impacto de Ocurrencia de los Riesgos del Proyecto.

Impacto	Puntaje	Interpretación
Alto	75	Impacto significativo sobre el proyecto, es decir, entre 10% y 25% de desviación del alcance, fecha final del cronograma o presupuesto del proyecto
Medio	40	Impacto medible sobre el proyecto, es decir, entre 5% y 10% de desviación en el alcance, fecha final del cronograma o presupuesto del proyecto
Bajo	15	Impacto menor sobre el proyecto, es decir, < 5% desviación en el alcance, fecha final del cronograma o presupuesto del proyecto

La información desarrollada desde las secciones 4.9.3 a 4.9.5 se ordenan en el Cuadro 29, con el propósito de identificar para cada riesgo cual sería su probabilidad, frecuencia e impacto de ocurrencia en el presente proyecto, además de incluir la Amenaza, que es la manera ó situación en la que se manifiesta el riesgo dentro del proyecto, se plantean también las acciones de mitigación, que sería la forma como se contrarrestaría el riesgo presentado y los responsables de enfrentar cada riesgo.

Cuadro 29. Identificación, Probabilidad, Impacto y Frecuencia de los Riesgos.

Id	Descripción del Riesgo	Amenaza	Prob. Ocurrencia	Impacto	Frecuencia de Ocurrencia	Acciones de Mitigación	Responsable
1.1.1	Escasez de Información para la elaboración de diseños	Los diseños presenten nivel de detalle inferior a los establecidos en los criterios de aceptación.	Alta	Alto	Mensual	Investigar en ciudades donde se haya aplicado un proyecto similar.	Team del Proyecto
1.1.2	Personal Inexperto para la elaboración de diseños	Diseños no resultan según lo planeado en cuanto a calidad.	Baja	Alto	Mensual	Búsqueda de Talento Humano idóneo para el proyecto.	Team del Proyecto
1.1.3	Tiempo para la finalización de los diseños	Sobrepasar el tiempo estipulado para la entrega de los diseños.	Alta	Alto	Semanal	Realizar los diseños con anticipación a lo planeado.	Arquitecto Director de Proyecto
1.1.4	Presupuesto para realización de diseños	No se cumpla la planeación de la línea de base del costo.	Media	Medio	Mensual	Administrar el capital de acuerdo a lo presupuestado en el plan del proyecto.	Team del Proyecto
1.2.1	Escasez de información para la elaboración del documento guía.	El documento Guía no describa todos los pasos para el ensamble de las celdas eólicas	Alta	Alto	Semanal	Poseer variedad de documentación	Team del Proyecto Ingeniero Eléctrico
1.2.2	Presupuesto Para el desarrollo del documento guía	No se cumpla la planeación de la línea de base del costo.	Media	Medio	Mensual	Administrar el capital de acuerdo a lo presupuestado en el plan del proyecto.	Team del Proyecto
1.2.3	Complejidad de Terminología a utilizar en el documento	Comprensión inadecuada del documento guía.	Baja	Medio	Mensual	Búsqueda de términos comúnmente conocidos.	Team del Proyecto Ingeniero Eléctrico
1.2.4	Tiempo para la finalización del documento	Sobrepasar el tiempo estipulado para la entrega del documento guía.	Alta	Alto	Mensual	Planear la realización del documento guía para antes de la terminación del proyecto.	Team del Proyecto Director de Proyecto

4.9.6 Plan de Respuesta a Riesgo

Este plan se realiza con el propósito de buscar acciones que nos permitan mitigar las diferentes amenazas o riesgos que puedan presentarse a lo largo de la ejecución del proyecto, A partir de este se asignaran responsables para la solución o respuesta de riesgos, el plan se llevará a cabo empleando la técnica de *Mitigación* en caso de encontrar riesgos negativos que puedan influenciar en el éxito del proyecto.

4.9.9 Plan de gestión de riesgos

El objetivo de este plan de gestión es evitar la ocurrencia e incidencia de problemas dentro del proyecto que se está ejecutando. Se llevará a cabo un análisis de todas las situaciones que pueden representar un riesgo y/o causar limitaciones al proyecto, por esto, se evaluará la información recopilada o recolectada, para comprobar si es suficiente y contundente acerca del tema tratado. Además, se indagará con anticipación sobre posibles personas que podrían apoyar de manera directa o indirecta con sus conocimientos y experiencia para el desarrollo del proyecto.

La gestión del riesgo se iniciará antes de poner en marcha el proyecto, para con esto, identificar los problemas que intervienen directa o indirectamente con el avance del proyecto desde su inicio hasta su fin, para prevenirlas, tomando respectivas medidas para que éstas no ocurran, y en caso de ocurrir, plantear una posible solución inmediata.

Las personas encargadas de gestionar los riesgos, prevenir y solucionar los eventos con impactos negativos, será el Director de proyectos, apoyado a su vez, por los integrantes del grupo de trabajo.

4.10 GESTIÓN DE LAS ADQUISICIONES

Para este proyecto, las compras o adquisiciones son necesarias puesto que determinan la disponibilidad oportuna de los recursos, de manera que no se presenten retrasos o demoras al trabajar debido a la falta de insumos, materiales, herramientas y todos los recursos en general. Cabe resaltar que adicionalmente a los equipos de cómputo, escáner e impresora que posee el grupo de trabajo, es necesario adquirir productos y servicios por parte del grupo de trabajo que no se encuentran dentro de la organización del proyecto (papelería, asesoría, revista documental, entre otras).

4.10.1 Definiciones

- **Adquisición:** es la compra de un bien o servicio destinado a ser utilizado en alguna actividad o tarea asignada.
- **Insumos:** son todas las entradas al sistema del proyecto (materia prima, mano de obra, información, entre otras).
- **SOW (Statement Of Work):** El enunciado del Trabajo describe el artículo a adquirir con suficiente detalle como para permitir que los potenciales vendedores determinen si podrán suministrar el artículo. Describe los productos, los servicios o los resultados que el vendedor suministrará.

4.10.2 Planificar las Compras y Adquisiciones

La planificación de las compras y/o adquisiciones permite al grupo del presente proyecto la identificación y consolidación de los requerimientos que son necesarios para llevar a cabo la elaboración de los entregables del proyecto, a fin de que éstos estén disponibles dentro del tiempo estipulado.

Entre las herramientas más utilizadas para la planificación de compras y adquisiciones se pueden mencionar: Juicio de Expertos, Tipos de Contrato y

Análisis de Fabricación Propia o Compra, ésta última fue la seleccionada por el Team del Proyecto para la llevar a cabo dicha planeación.

Para el actual proyecto se establecieron cuáles serían los posibles proveedores directos que suministrarán los insumos y recursos de información, todo lo anterior, realizando consultas a papelerías de la ciudad, para el caso de la tinta y el papel, seleccionando a aquella que presentara la oferta más atractiva para el grupo de trabajo en cuanto a calidad y costo. Para el caso de la revista documental, se seleccionó un proveedor por medio de Internet, que proporcionara confiabilidad de la información y facilidad de adquisición.

El Cuadro 30 contiene el SOW de los recursos que son necesarios para la realización de los entregables. Este SOW permite establecer especificaciones que se debes tener en cuenta para la selección, cantidades y el propósito por el cual son adquiridos:

Cuadro 30. SOW de los recursos del proyecto.

Ítem	Propósito	Especificaciones	Cantidad
Equipo de computo	Permite al grupo de trabajo elaborar los entregables del proyecto.	Mínimo: 1GB de memoria Ram, 80 GB de Disco duro y Procesador Dual Core.	2
Scanner	Permite al grupo de trabajo anexar documentos o imágenes a los entregables del proyecto.	Scanner Cama Plana, que permita escanear objetos planos como fotografías, hojas sueltas, libros y revistas. Funciona de forma similar a una fotocopidora.	1
Impresora	Permite al grupo de trabajo Imprimir los entregables del proyecto.	Canon Full inkjet	1
Tinta Negra y Color	Permite al grupo de trabajo Imprimir los entregables del proyecto.	Debe ser tinta de color negro y a color. Cada cartucho debe contener 5 ml. Comprada por paquetes que tenga contenido ambos cartuchos, referencia Canon CL-31	2

Papel	Permite al grupo de trabajo plasmar los entregables del proyecto.	Comprado por resma (500 hojas). Tamaño carta (21.6 cm x 27.9 cm). Debe permitir la durabilidad de los documentos impresos.	1
Revista EOLUS	Permite al grupo de trabajo obtener la información referente a las celdas eólicas.	Debe contener los pasos para el montaje de las celdas eólicas, especificaciones técnicas para llevar a cabo de la mejor manera posible la realización de los diseños.	1
Libro Electrónico	Facilitar información para la ejecución del proyecto	De fuente confiables, de gran experiencia y fundamentos a fines.	2
Director de proyecto	Guiar al Team para concluir el proyecto exitosamente dentro del alcance, tiempo, presupuesto y calidad establecidos.	Capacidad de Liderazgo. Este debe ser titulado como Ingeniero Industrial, Ingeniero Eléctrico o Ingeniero Mecánico. Con especialización y experiencia a fines.	1
Ingeniero Industrial	Ejecutar el proyecto estableciendo relaciones directas con las distintas disciplinas que intervienen.	Debe tener conocimientos en análisis de procesos, metodologías y administración de recursos.	3
Ingeniero Civil	Realizar estudios de suelos y plantear especificaciones técnicas de hormigón para el proyecto	Debe tener conocimientos en estudio de suelos y bases de cimentación.	1
Ingeniero Eléctrico	Verificar e implantar los principios técnicos de celdas eólicas que intervienen en este proyecto	Debe tener conocimientos básicos en los aspectos técnicos de las celdas eólicas.	1
Arquitecto	Realizar planos del proyecto, de acuerdo a las especificaciones suministradas.	Debe estar capacitado para la realización de planos en software especializado para tal fin.	1

Servicio Telefónico	Facilitar las comunicaciones necesarias para la realización del proyecto	Servicio ilimitado a nivel nacional.	1
Servicio de Internet	Facilitar las investigaciones dadas como consecuencia de la realización del proyecto	Servicio ilimitado. Con un mínimo de 2000 Kb	1

4.10.3 Planificar la Contratación

Para el presente proyecto, se seleccionaron proveedores y/o Talento Humano que para la elaboración de los entregables productos del mismo. Se escogerán los proveedores que suministren artículos de oficina, los anteriores se seleccionarán teniendo en cuenta el reconocimiento de éstos, su ubicación con respecto a la del Team del Proyecto, de tal manera que se facilite el traslado de los insumos y requerimientos a la base del mismo.

La materialización de la planeación de la contratación de los proveedores puede verse reflejada mediante las cotizaciones realizadas a proveedores de artículos de oficina de la ciudad, como se describe en la sección 4.5.2 Estimación de Costos. La respuesta por parte de los proveedores se ve reflejada en las cotizaciones que realiza el grupo del proyecto, la cual fue consolidada en los cuadros mostrados en la sección descrita anteriormente.

4.10.4 Selección de Vendedores

Para el presente proyecto, se utilizó el criterio de Selección por Precio, ya que éste permite al Team del Proyecto evaluar a los distintos proveedores para conocer cuál sería la mejor oferta que convenga al Team para llevar a cabo la realización de los entregables de este proyecto. Se cotizaron los insumos del proyecto con la misma marca y referencia en las oficinas de los tres distintos proveedores que

tuvo en cuenta el Team del proyecto, los cuales fueron: Papelería Panamericana, Papelería Tauro y la seleccionada, Papers & Papers, haciendo selección de este último, ya que éste presentó ofertas con un menor costo, con la misma calidad de los productos para el grupo de trabajo.

4.10.5 Plan de gestión de las Adquisiciones

Lo que se requiere en cuanto a las adquisiciones del proyecto es una coordinación entre los pedidos y las compras que realiza el grupo del proyecto con la cantidad y la disponibilidad de los recursos en el tiempo requerido. Es necesario analizar y configurar una lista final de materiales, insumos y servicios que deben ser utilizados durante el desarrollo del proyecto, a fin de que se establezcan las adquisiciones y no incurrir en sobrepasarse del tiempo de finalización del proyecto.

Las adquisiciones serán identificadas y organizadas en una lista con sus respectivas referencias, empleando Cuadros, que permitirán apreciar cuántas adquisiciones se realizarán y en qué cantidades. Lo anterior se llevará a cabo por el Team del Proyecto, quien será el encargado de analizar la lista de proveedores, así como también los precios de los productos, para seleccionar la alternativa que mejor convenga al proyecto.

La lista de requerimientos se hará una vez iniciado el proyecto, con el fin de que concuerde lo que se necesita en el tiempo en que se necesite. Se realizará en el lugar base del grupo de trabajo, donde se encuentra un equipo con la información y recursos disponibles para conformar la lista.

5. EJECUCION DEL PROYECTO

Para el presente proyecto se describirá su desarrollo, detallando el proceso de elaboración de los entregables, tanto los Diseños, como el Documento Guía para

el montaje. Este capítulo consta de dos partes: La primera, en la cual se establecen generalidades correspondientes al tema de Celdas Eólicas, se describe brevemente el principio de funcionamiento, su impacto y desarrollo alrededor del mundo, lo anterior se realiza con el fin de que las personas conozcan básicamente las ventajas de este medio de obtención de energía. La segunda parte, contiene los criterios empleados por el Team del Proyecto para la selección de los componentes de las celdas eólicas a plasmar en los diseños, dicha información será tomada como base para la consolidación del documento guía para el montaje.

5.1 Generalidades de las Celdas Eólicas

¿Qué es la energía eólica?

La energía eólica hace referencia a aquellas tecnologías y aplicaciones en las que se aprovecha la energía cinética del viento para transformarla en energía eléctrica o mecánica²⁴.

¿Qué son las celdas eólicas o aerogeneradores?

Los aerogeneradores o celdas eólicas son máquinas que convierten la energía mecánica en energía eléctrica. Los aerogeneradores son algo inusuales, si se les compara con los otros equipos generadores que suelen encontrarse conectados a la red eléctrica²⁵. Una de las razones es que el generador debe trabajar con una fuente de potencia (el rotor de la turbina eólica) que suministra una potencia mecánica muy variable. El aerogenerador es un dispositivo consistente en un

²⁴ Secretaría de Energía de Argentina. **Energías Renovables 2008 - Energía Eólica**. Argentina: 2008. Pág. 4. Consultado el 22 de Mayo de 2009.

²⁵ Danish Wind Industry Association. Disponible en <http://guidedtour.windpower.org/es/tour/wtrb/electric.htm>. Consultado el 10 de Abril de 2010.

*sistema mecánico de rotación o rotor provisto de palas que con la energía cinética del viento mueven un generador eléctrico, conectado al sistema motriz*²⁶.

Funcionamiento de las Celdas Eólicas

Un parque eólico es una instalación que tiene la finalidad de generar energía eléctrica a partir del viento; también llamada energía eólica. La extracción y conversión de energía eólica a energía eléctrica se realiza de manera independiente en cada aerogenerador. Aunque el hecho de que se trate de una energía renovable supone una gran ventaja, presenta por el contrario, el inconveniente de la gran variabilidad del viento. Dicha variabilidad influye negativamente ya que no se puede contar siempre con esta fuente de energía ni tampoco se pueden hacer predicciones precisas.

Un parque eólico está formado por aerogeneradores que funcionan independientemente. Estos aerogeneradores generalmente se encuentran conectados en cascada (serie) y repartidos en varias líneas, debido a que los aerogeneradores suelen generar energía eléctrica a baja tensión, estos tienen en su base un transformador para elevar la tensión para minimizar pérdidas hasta la subestación del parque. En la subestación del parque convergen todas las líneas de los aerogeneradores e inyectan la potencia a la red eléctrica a través de un único punto mediante un transformador; se eleva aún más la tensión para adecuarla con la red de transporte.

En cada aerogenerador se pueden distinguir principalmente dos tipos de mecanismos o elementos: Los puramente mecánicos y los eléctricos. La energía mecánica del viento se transmite gracias a la turbina eólica y a su vez hasta la caja de cambios. La caja de cambios transmite esta energía, adecuando la velocidad rotacional al eje del generador eléctrico. Este transforma la energía

²⁶ Sánchez, Ana. **Energía Eólica**. España. Pág. 6. Disponible en <http://193.146.36.56/ortiz/trabajos0708/ENERGIA%20EOLICA-%20Ana%20Sanchez%20Hermida.pdf> . Consultado el 10 de Abril de 2010.

mecánica en eléctrica. El convertidor permite controlar el generador eléctrico y se usa o no en función del tipo de máquina que se disponga. El transformador eleva la tensión para inyectar la energía en la red eléctrica.

Para optimizar la energía del viento y para no someter a esfuerzos excesivos al aerogenerador, se debe ejercer algún tipo de control sobre la potencia. Existen principalmente dos regiones de operación: Por debajo de la velocidad del viento nominal y por encima de la misma. Cuando se está por debajo de la velocidad nominal del viento, interesa extraer toda la energía que sea posible del viento, con lo que la mejor opción sería las máquinas de velocidad variable. Este tipo de máquinas permiten conseguir el par óptimo mediante la variación de la velocidad de rotación del generador eléctrico; gracias al convertidor se puede acoplar el sistema con la red eléctrica.

Cuando se está por encima de la velocidad nominal de viento, interesa limitar la potencia que se extrae del viento. Para esto se actúa directamente en las aspas de la turbina; algunas están diseñadas para provocar turbulencias cuando se sobrepasa la velocidad nominal ("Passive Stall") y en otras, se giran las aspas. Existen principalmente dos métodos para limitar la potencia cuando se giran las aspas: Provocando turbulencias ("Pitch-to-Stall") o aumentando el ángulo para extraer menos potencia ("Pitch-to-Feather")²⁷.

²⁷Actualidad de la Industria Eólica. **EOLUS**. 43va Edición. España, Barcelona. Pág. 22 - 23. Consultado el 10 de Abril de 2010.

En la figura 10, se muestra el esquema de lo descrito anteriormente.

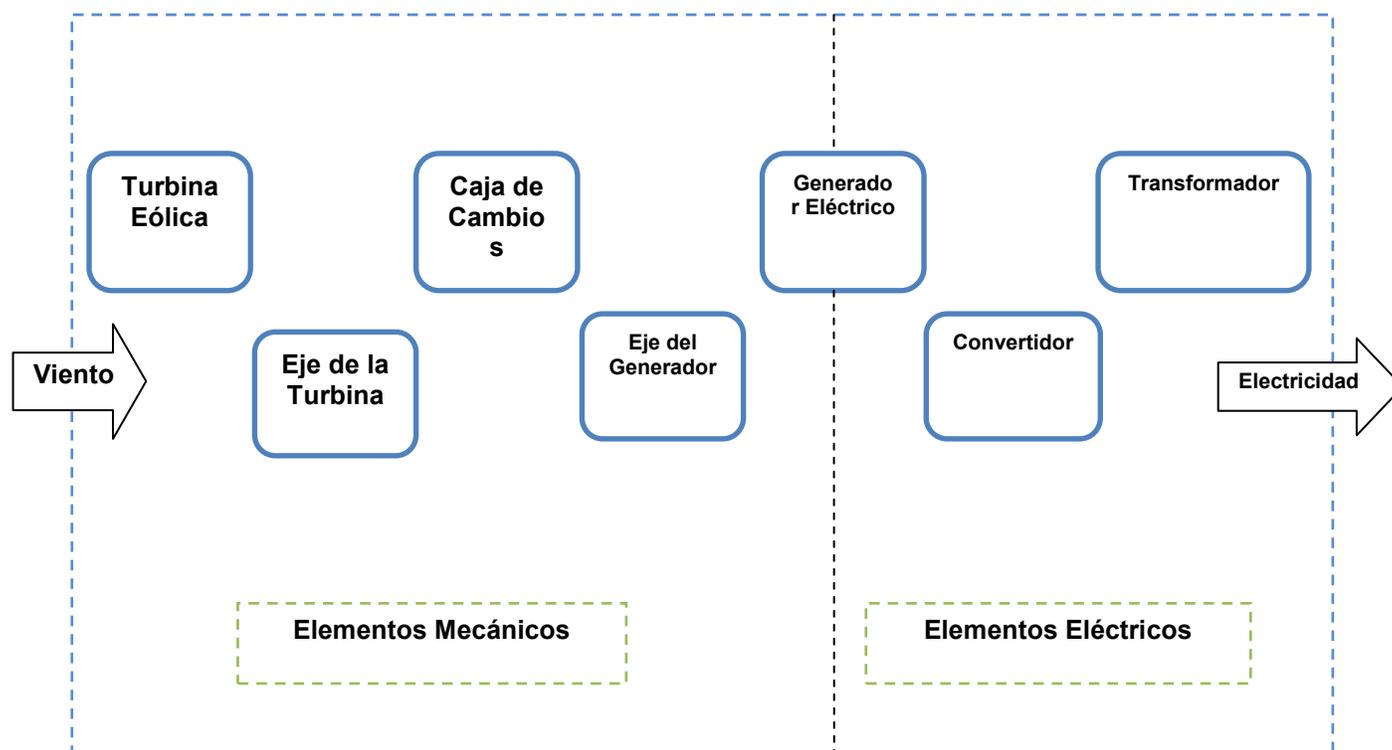


Figura 10. Esquema Básico de un aerogenerador²⁸.

Voltaje generado por las Celdas Eólicas

En grandes aerogeneradores (alrededor de 1 - 1,5 MW) el voltaje (tensión) generado por la turbina suele ser de 690 V de corriente alterna trifásica (AC). Posteriormente, la corriente es enviada a través de un transformador anexo a la turbina (o dentro de la torre), para aumentar su voltaje entre 10.000 y 30.000 V, dependiendo del estándar de la red eléctrica local. Los grandes fabricantes proporcionan modelos de aerogeneradores tanto de 50 Hz (para las redes eléctricas de la mayor parte del mundo) y de 60 Hz (para la red eléctrica de América).

²⁸ Actualidad de la Industria Eólica. **EOLUS**. 43va Edición. España, Barcelona. Pág. 22. Consultado el 22 de Mayo de 2010.

Sistema de refrigeración

Los generadores necesitan refrigeración durante su funcionamiento. En la mayoría de turbinas la refrigeración se lleva a cabo mediante encapsulamiento del generador en un conducto, utilizando un gran ventilador para la refrigeración por aire, aunque algunos fabricantes usan generadores refrigerados por agua. Los generadores refrigerados por agua pueden ser construidos de forma más compacta, lo que también les proporciona algunas ventajas en cuanto a rendimiento eléctrico se refiere, aunque precisan de un radiador en la góndola para eliminar el calor del sistema de refrigeración por líquido.

La energía eólica a nivel mundial

La industria eólica internacional está adoptando una visión muy positiva del desarrollo del mercado eólico mundial de cara en los próximos años. Para el 2012, se espera que la potencia instalada a nivel global alcance los 208.000 MW, frente a los 94.000 MW registrados a finales de 2007. De igual forma, también se espera que los volúmenes de mercado (nuevas instalaciones anuales en MW) se multipliquen por 5 en los próximos diez años, es decir, que asciendan de los 20.000 MW registrados el año pasado, a los aproximadamente los 107.000 MW que se cree que se alcanzará en el 2017.

Un estudio realizado durante el 2008 por Husum WindEnergy junto al instituto alemán de la energía Eólica (DEWI) recoge, en el llamado WindEnergy Study 2008, los resultados de una encuesta realizada entre las principales empresas activas del sector. Los datos muestran que, debido principalmente al fuerte crecimiento del mercado en Estados Unidos y China, a finales del año 2017 podría sumarse un total de 718.000 MW de capacidad instalada en el mundo²⁹.

²⁹ Actualidad de la Industria Eólica. **EOLUS**. 43va Edición. España, Barcelona. Pág. 14. Consultado el 10 de Abril de 2010.

El foco del crecimiento global durante el año pasado se centro principalmente en Estados Unidos, China, España, Alemania e India, con alrededor del 78% de nuevas instalaciones. Los encuestados creen que Estados Unidos, China y España tienen un futuro con un gran potencial de crecimiento, mientras que existen también algunos países que están empezando a ser muy importantes, tales como Grecia y Corea del Sur.

La energía eólica ha venido creciendo a pasos agigantados, ya que su principal objetivo es generar energía limpia y verde, haciendo posible la solidaridad entre las personas y el medio ambiente, reduciendo el impacto ambiental generado por la actividad humana para la obtención de energía. Por esta razón ha incrementado el consumo de este tipo de energía en diferentes partes del mundo, lo que permite que sea una opción atractiva para la generación de energía.

La Figura 11 ilustra el reparto de la energía eólica a nivel mundial, enunciando las partes del mundo y el porcentaje de capacidad instalada de energía eólica a finales del 2008.

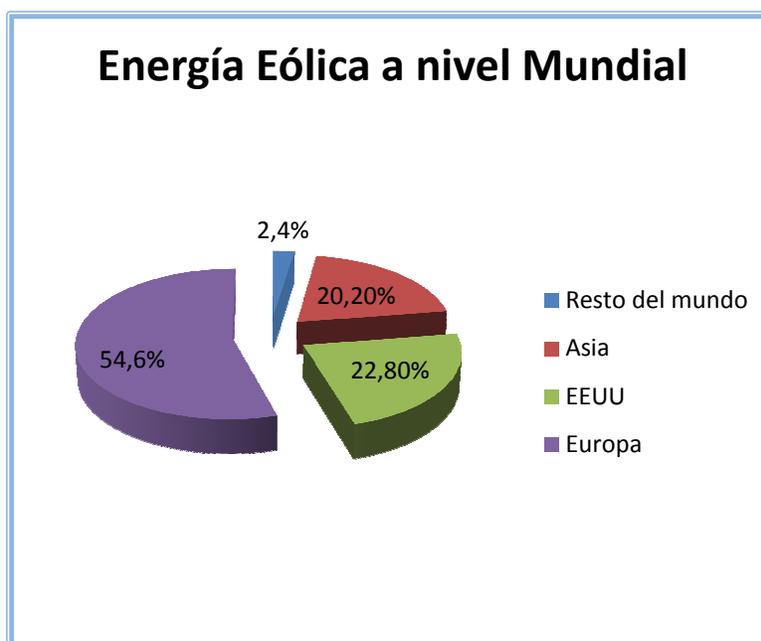


Figura 11. Reparto de energía Eólica a nivel mundial³⁰.

La Energía Eólica en Colombia

Las inversiones en generación de energía en Colombia, al igual que en otros países del mundo, son irreversibles, costosas, y están sujetas a numerosas fuentes de incertidumbre, características que inducen complejidad en el proceso de toma de decisiones. No obstante, algunos proyectos cuentan con flexibilidad estratégica que permite decidir el momento óptimo de ejecución, expansión, contracción, suspensión o abandono dependiendo de las condiciones del mercado que determinan su rentabilidad.

En particular, en Colombia a diferencia de otros países donde la operación de parques eólicos goza de una curva de aprendizaje, la tecnología no tiene antecedentes, por tanto su desempeño futuro es absolutamente incierto. Adicionalmente, la generación de energía eólica se caracteriza por su modularidad, lo que facilita la inversión en parques eólicos pilotos cuya expansión está supeditada a la operación y desempeño de la tecnología en el mercado. Frente a esto, la valoración de un proyecto de este tipo debe dar cuenta de la incertidumbre del mercado, y la flexibilidad estratégica inherentes a éste³¹.

En Colombia se emplean combustibles fósiles para la obtención de energía eléctrica, predominando principalmente la práctica de quemar combustibles fósiles tales como el Carbón alcanzando las 800.000 Tera calorías, así como también el Petróleo y sus derivados, con una cantidad superior a las 400.000 Tera calorías. Adicionalmente con la extracción de Gas Natural, con la utilización del Bagazo de Caña de Azúcar, Leña e Hidro energía, el país logra satisfacer su demanda de electricidad, lo cual produce contaminación debido a la emisión de gases de invernadero³².

³¹ Mora, Agudelo y Dyner, **Energía Eólica en Colombia: Una aproximación desde las opciones reales**. Colombia. Pág.2

³² Colciencias. **Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería**. Bogotá, Colombia. 2009, Pág. 11.

En la Figura 12 se muestra la cantidad de energía eléctrica producida por cada una de las materias primas mencionadas anteriormente dada en Tera Calorías (1×10^{12} Calorías):

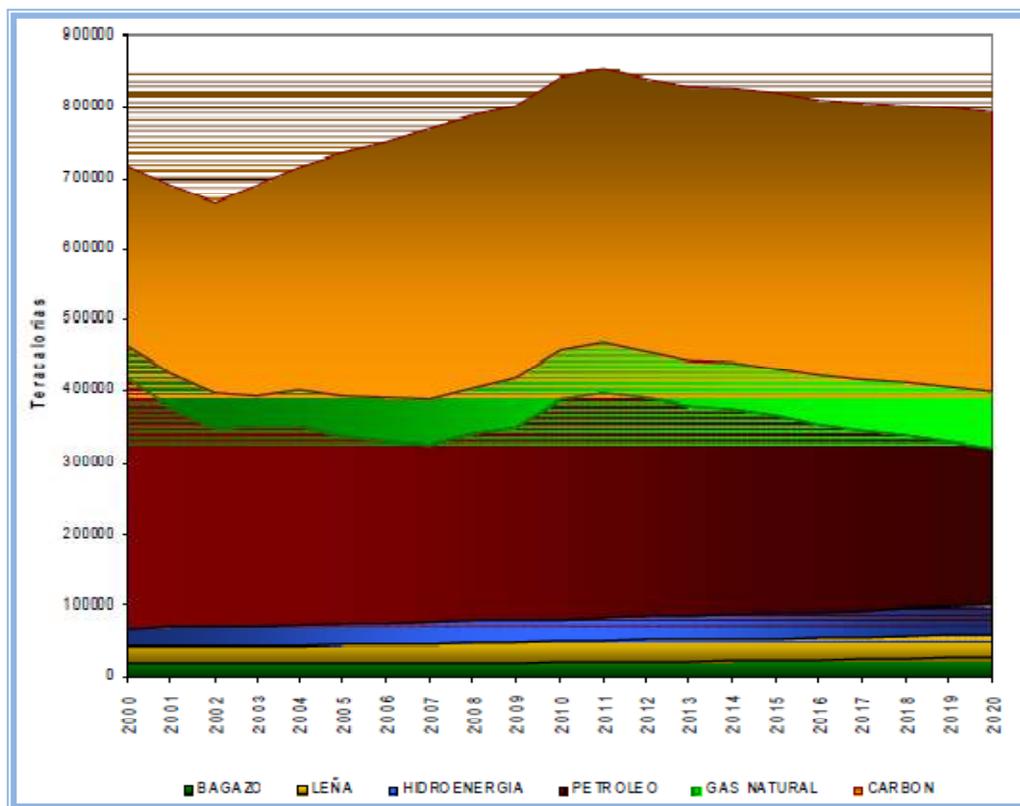


Figura 12: Producción de Energía Primaria en Colombia

Por otra parte, también se consideran los costos de la instalación y generación de la energía eléctrica del país. Cabe aclarar que los métodos de energías renovables en el territorio nacional son más costosos que los que implican la quema de combustibles fósiles, debido al costo de los aerogeneradores y su mantenimiento, sin embargo, éstas máquinas cuentan con un período de vida útil de 20 años³³, por lo tanto, posee una curva de energía predecible, lo que las hace más eficientes, ya que producen energía localmente, reduciendo la necesidad de líneas de transmisión de alto voltaje, en donde se pierde mucha energía³⁴.

³³ Actualidad de la Industria Eólica. **EOLUS**. 43va Edición. España, Barcelona.

³⁴ Actualidad de la Industria Eólica. **EOLUS**. 43va Edición. España, Barcelona.

El Cuadro 31 muestra los costos de los diferentes métodos de generación de energía a gran escala, entre los que se mencionan la Hidro energía, la quema de gas, carbón y la energía eólica, entre otros.

Cuadro 31. Costos de Generación de Energía en Colombia³⁵

COSTOS DE GENERACIÓN A GRAN ESCALA		
TECNOLOGÍA	INSTALACIÓN US\$/Kw	GENERACIÓN US\$/Kw
Hidroeléctrica	1200	36
Gas Natural	706	37,11
Carbón	1700	45,54
Eólica	1300	39 a 50

Actualmente en Colombia existe solo un parque de aerogeneradores llamado Jepirachí, el cual se localiza en la región nororiental de la Costa Atlántica colombiana, entre las localidades del Cabo de la Vela y Puerto Bolívar, en inmediaciones de Bahía Portete, Municipio de Uribia, departamento de La Guajira y ocupa en una zona de 165 hectáreas. El parque está conformado por dos filas de 8 y 7 aerogeneradores separadas aproximadamente 1 Km entre sí. La distancia promedio entre aerogeneradores es de 180 m.

El parque tiene una capacidad instalada de 19,5 MW de potencia nominal, que corresponde a 15 aerogeneradores de 1.3 MW cada uno, fabricados en el año 2003 por la firma Alemana Nordex Energy. Estos aerogeneradores están distribuidos sobre 2 filas de 8 y 7 máquinas respectivamente, en un área aproximada de 1 Km de largo en dirección paralela a la playa y 1.2 Km de ancho al norte de la ranchería Kasiwolin y al occidente de la ranchería Arutkajüi. El costo total el proyecto fue de US \$27.000.000.

³⁵ Empresas Públicas de Medellín (EPM). **Parque Eólico Jepirachí**. Colombia. Pág.20. Consultado el 10 de Abril 2010.

En lo que constituyó una decisión trascendental para el desarrollo de nuevas alternativas para la generación eléctrica en Colombia, EPM inició oficialmente el 19 de abril de 2004 la operación y el mantenimiento de su primer parque eólico piloto, en la Alta Guajira colombiana. El parque eólico Jepirachí, hace parte de un programa para el aprovechamiento de la energía eólica en la Alta Guajira. Con la operación, mantenimiento y seguimiento del proyecto parque eólico Jepirachí, se ha logrado aumentar progresivamente la curva de conocimiento en este tipo de energía alternativa y la identificación de posibilidades para la adaptación tecnológica en la fabricación futura de equipos adecuados para las condiciones específicas de la región donde se encuentra instalado, lo cual permitirá en un futuro en Colombia el desarrollo de grandes parques eólicos con alto rendimiento energético.

Jepirachí representa el 0,14 % del total de la capacidad de energía instalada en Colombia. Como parte de la investigación y adquisición de experiencias previas a la construcción del parque eólico, personal de EPM visitó y estableció contactos con empresas de países con tecnología igual a la instalada en Jepirachí, como es el caso de Costa Rica, España y Portugal, cuya capacidad instalada de energía eólica equivale en promedio entre el 6% y el 10% de la capacidad total de energía instalada en cada uno de estos países³⁶.

Para el año 2008 se había pronosticado la producción de energía eléctrica en Colombia proveniente del viento en el único parque eólico con fines experimentales existente en el país, la siguiente figura muestra la energía eólica producida desde 2004 a 2008 por el parque, se esperaba que la energía producida llegara a los 77.000 MW h/año, sin embargo, dicho valor no fue alcanzado, pues solo se produjo un valor inferior a los 70.000 MW h/año:

³⁶ Empresas Públicas de Medellín (EPM). **Parque Eólico Jepirachí**. Colombia. Pág.1 - 2. Consultado el 10 de Abril 2010.

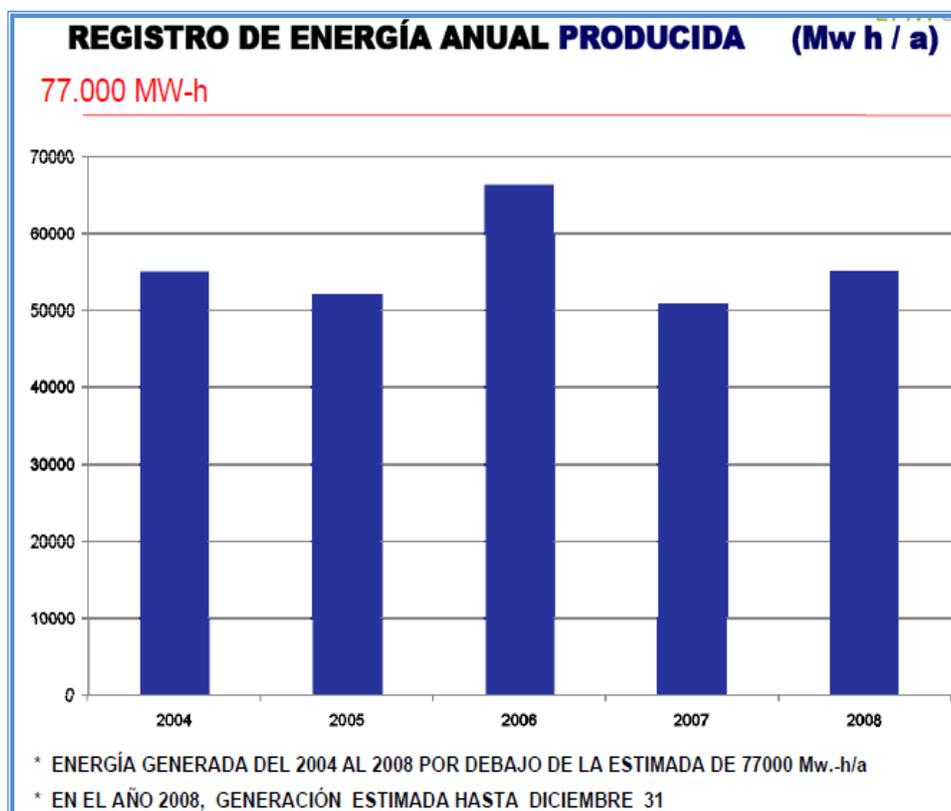


Figura 13. Producción de energía eólica en Colombia³⁷.

5.2 Criterios de Selección de Celdas Eólicas

Para la selección de las celdas eólicas del presente proyecto, se establecieron criterios de decisión que permitieron al Team del Proyecto escoger entre un grupo de Proveedores experimentados en la elaboración e implementación de Celdas Eólicas a nivel mundial a aquel que por su éxito en el campo, presentara los diseños que mejor se adaptaran a los criterios de aceptación de este proyecto.

Además otro de los criterios tenidos en cuenta fue la disponibilidad de información suficiente por parte del proveedor, plasmada en sus sitios web, documentos en línea y catálogos de productos, ya que dicha información permitió realizar la ejecución de los entregables descritos para el proyecto.

³⁷ León, Hugo. **Proyecto Piloto para la investigación de energía eólica en Colombia**. Colombia. Pág.7. Consultado el 10 de Abril 2010.

Entre los proveedores evaluados por el Team del Proyecto, se encuentran:

POWERWIND, la cual es una compañía Alemana que produce convertidores de energía eólica con salidas entre los 900 KW y los 2.500 KW, y que también suministra servicios específicamente relacionados a estos productos. Esta compañía en dinámica expansión, fue fundada en 2007 y es financiada por Warburg Pincus, un inversionista internacional. POWERWIND tiene dos locaciones en Alemania, una en Hamburgo y otra en Bremerhaven³⁸.

GAMESA, que es una empresa especializada en tecnologías para la sostenibilidad energética, principalmente la eólica. Es líder en España y está situada entre los primeros fabricantes de aerogeneradores a nivel mundial. Gamesa ha instalado más de 18.000 MW de sus principales líneas de producto en 20 países, situados en cuatro continentes. El equivalente anual de esa producción supone más de 4 millones de Toneladas de Petróleo (TEP)/año y evita la emisión la atmósfera de una cantidad superior a 27 millones de toneladas de CO₂/año³⁹.

ECOTECNIA, fundada en Abril de 1999, está integrada en Mondragón Corporación Cooperativa (MCC). Esta organización está constituida por una plantilla de 68.625 personas distribuidas en 170 empresas estructuradas a su vez en diversos grupos sectoriales: Financiero, Industrial y Distribución, conjuntamente con las áreas de Investigación y Formación⁴⁰.

SIEMENS, que continuo su ascenso en el negocio de los aerogeneradores durante el año pasado. La compañía alemana vendió 2.100 MW de aerogeneradores en 2008, en comparación con los 1.103 MW del 2007. La empresa Alemana ha previó la construcción de 300 aerogeneradores costa-afuera en 2009 ubicados en Reino Unido y Dinamarca⁴¹.

³⁸ Powerwind. Alemania, Hamburgo. 2007. Disponible en: <http://www.powerwind.de/site/eng/company.htm>. Consultado el 10 de Abril de 2010.

³⁹ Gamesa Corp. España, Barcelona. Disponible en: <http://www.gamesacorp.com/es/gamesa>. Consultado el 10 de Abril de 2010.

⁴⁰ Ecotecnia. España, Barcelona. Disponible en: <http://www.ecotecnia.com>. Consultado el 10 de Abril de 2010.

⁴¹ EOLUS. **Actualidad de la industria eólica**. 43 Edición. 2009. España, Barcelona. Pág. 13. Consultado el 10 de Abril de 2010.

***NORDEX**, la cual fue fundada en 1985, antes que la demanda internacional por aerogeneradores se incrementara en la primera mitad de la década de los 90. Uno de los miembros fundadores es hoy el director de Ventas, Carsten Pendersen. Desde su inicio, Nordex se enfocó en turbinas robustas y poderosas. En sólo dos años, la compañía instaló las más grandes series de aerogeneradores en el mundo a la vez⁴².*

Para el presente proyecto se seleccionó al proveedor GAMESA, con el aerogenerador (producto) GAMESA G39/500, ya que este proporcionó la información técnica relacionada con las celdas eólicas que se considera para llevar a cabo la realización de los diseños de las celdas. Dicha información contiene las especificaciones en cuanto a Dimensiones (metros) y Masa (Kg) de cada uno de los componentes principales que conforman las celdas eólicas.

Los siguientes son los componentes que se consideran para realizar los diseños de este proyecto: Torre, Generador Eléctrico, Rotor y Aspas. Se describirán cada uno de los componentes anteriormente mencionados, con sus especificaciones técnicas que permitieron la elaboración de los diseños.

Torre

La mayoría de los grandes aerogeneradores se entregan con torres tubulares de acero, fabricadas en secciones de 20 - 30 metros con bridas en cada uno de los extremos, y son unidos con pernos "in situ". Las torres son tronco-cónicas (es decir, con un diámetro creciente hacia la base), con el fin de aumentar su resistencia y al mismo tiempo ahorrar material. En los grandes aerogeneradores las torres tubulares pueden ser de acero, de celosía o de hormigón. Las torres

⁴²NORDEX. Alemania. Disponible en: <http://www.nordex-online.com/en/company-career/history.html>. Consultado el 10 de Abril de 2010.

tubulares tensadas con vientos sólo se utilizan en aerogeneradores pequeños (cargadores de baterías, etc.)⁴³.

Elección de Torre

Se obtendrá definitivamente más energía de una turbina más grande que de una pequeña, esta es la razón por la cual el grupo del proyecto seleccionó una torre estándar de 60 metros de altura. No es conveniente instalar un rotor de grandes dimensiones (60 metros) sobre una torre de menos de 30 metros, ya que si se considera instalar un gran rotor y un gran generador eléctrico, se desaprovecharía la capacidad máxima de estos equipos si son instalados sobre una torre pequeña, debido a que se dispone de velocidades de viento mucho más altas y, por lo tanto, de mucha más energía con una torre alta.

Los proveedores experimentados en el tema de celdas eólicas, en este caso, Gamesa, fabrica aerogeneradores donde la altura de la torre es igual al diámetro del rotor. Algunos expertos consideran que estéticamente, las celdas eólicas son más agradables a la vista cuando la altura de la torre es aproximadamente igual al diámetro del rotor.

Para el presente proyecto se eligió una torre tronco-cónica de acero, ya que para los aerogeneradores de última tecnología se elaboran con esta forma y material, cuya altura es de 60 metros, dividida en 3 secciones de 20 metros cada una. El diámetro superior de coronación es de 1.80 metros, y el diámetro inferior en la base es de 3.58 metros, peso de 108.000 Kilogramos (Kg), la cual presenta protección contra corrosión. Para la fabricación de la torre se utilizan máquinas y herramientas de corte por láser para obtener la forma deseada en la lámina de acero que será empleada para elaborar la torre del aerogenerador.

⁴³Windpower. Disponible en: <http://guidedtour.windpower.org/es/tour/wtrb/tower.htm>. Consultado el 10 de Abril de 2010.

Generador Eléctrico

En un aerogenerador se transforma energía cinética del viento en energía mecánica mediante el giro del rotor eólico. Se transforma en energía eléctrica mediante una máquina eléctrica, que opera en modo generador de energía eléctrica, gracias al giro del eje del rotor del aerogenerador, provocado por la acción del viento sobre las aspas⁴⁴.

Para el actual proyecto, se seleccionó el generador eléctrico asíncrono trifásico ó llamado también de inducción, ya que la mayoría de los fabricantes de aerogeneradores a nivel mundial utilizan este tipo de generador para generar corriente alterna. Otra de las razones para la elección de este tipo de generador es que tiene propiedades mecánicas que lo hacen especialmente útil en turbinas eólicas.

El generador Gamesa escogido para el proyecto tiene 4 polos, con 500 KW de potencia. Además trabaja con 30 revoluciones por minuto (rpm), ya que los grandes aerogeneradores trabajan entre 20 y 100 rpm, con un peso de 52.000 Kg.

Aspas

Las aspas del aerogenerador capturan el viento y transmiten su potencia hacia el buje, en un aerogenerador moderno cada pala mide alrededor de 40 metros de longitud. En su mayoría los aerogeneradores tienen tres palas⁴⁵.

El número de aspas establecido para el aerogenerador seleccionado es de tres aspas, debido a que los fabricantes de modernos aerogeneradores evitan construir grandes máquinas con un número par de aspas, ya que la razón es la estabilidad de la celda eólica. Un rotor con un número par de aspas presenta problemas de estabilidad en una máquina que tenga una estructura rígida, la razón es que en el

⁴⁴ Sistemas de Generación eléctrica para aerogeneradores. **Curso RED RIGE-UTE**. Capítulo 1, Pág.1. Uruguay, Montevideo. Consultado el 11 de Abril de 2010.

⁴⁵ Energías Renovables. Disponible en: <http://www.renovables-energia.com/2009/09/componentes-de-un-aerogenerador/>. Consultado el 11 de Abril de 2010.

preciso instante en que el aspa más alta se flexiona hacia atrás, debido a que obtiene la máxima potencia del viento, el aspa más baja pasa por la sombra del viento de enfrente de la torre⁴⁶.

Para el presente proyecto se ha seleccionado el concepto danés, que consiste en la construcción de la celda eólica usando tres aspas, con una longitud total de 19 metros, con un peso de 1100 Kg cada una. Además estas están sujetas por medio de una plesa o empaque de acoplamiento, con ésta el peso total de las aspas se aproxima a los 1500 Kg cada una.

Rotor

El rotor es el subsistema formado por las aspas, el cubo, que es el elemento al que se ensamblan las aspas y mediante el cual la potencia captada por el rotor se transmite a la flecha principal, y la nariz, que es una cubierta frontal en forma de cono que sirve para desviar el viento hacia el tren motor y mejorar la ventilación en el interior, eliminar turbulencia indeseable en el centro frontal del rotor y mejorar el aspecto estético. La función del rotor es convertir la energía cinética del viento en la energía mecánica que se utiliza para impulsar el generador eléctrico⁴⁷.

El rotor seleccionado para el presente proyecto, está conformado por tres aspas aerodinámicas, de 39 metros de diámetro y un peso de 6.700 Kg.

Teniendo en cuenta que cada aerogenerador Gamesa G 39/500 tiene una capacidad para producir 1,5 Mw ($1,5 \times 10^6$ Watts) de energía y que el consumo en promedio de electricidad en promedio de los hogares cartageneros es de 20 Kw⁴⁸ (20×10^3 Watts), realizando los cálculos, se obtiene el número de hogares que pueden ser suministrados por el aerogenerador seleccionado:

⁴⁶ Windpower. Disponible en: <http://guidedtour.windpower.org/es/tour/design/concepts.htm>. Consultado el 11 de Abril de 2010.

⁴⁷ Partes de un aerogenerador. Disponible en: <http://www.renovables-energia.com/2009/09/componentes-de-un-aerogenerador/>. Consultado el 11 de Abril de 2010.

⁴⁸ UPME, Ministerio de Minas y Energía de Colombia. Determinación del Consumo Final de Energía en Colombia. Página 23.

$$N^{\circ} \text{ Hogares Abastecidos} = \frac{\text{Capacidad Aerogenerador}}{\text{Consumo de Hogares promedio}}$$

$$N^{\circ} \text{ Hogares Abastecidos} = \frac{1,5 \times 10^6 \text{ Watts}}{20 \times 10^3 \text{ Watts/Hogar}}$$

$$N^{\circ} \text{ Hogares Abastecidos} = \frac{1,5 \times 10^6 \text{ Watts}}{20 \times 10^3 \text{ Watts/Hogar}} = 75 \text{ Hogares}$$

CONCLUSIONES

La metodología del PMI (Project Management Institute) plasmada en el PMBOK (Project Management Institute Book Of Knowledge) fue fundamental y de gran ayuda al Team del Proyecto para la realización del mismo, ya que este aportó herramientas y técnicas que permitieron el ordenamiento y tratamiento de la información requerida para cada Área de Conocimiento, además de la fundamentación de la planeación del proyecto.

Durante la planeación y fundamentación del proyecto el cual fue desarrollado bajo la metodología del PMI, fue planteado un alcance, el cual determinó los entregables productos del mismo, definidos como la entrega de planos de celdas eólicas y un documento guía para el montaje de las mismas, cada entregable con sus respectivos criterios de aceptación fijados en conjunto por el grupo de trabajo. Del alcance se derivaron las áreas de gestión de Tiempo, Costos, Calidad, Recurso Humano, Comunicaciones, Riesgos y Adquisiciones, las cuales fueron interrelacionadas una con la otra mediante la gestión de la Integración.

Dentro de la parte de desarrollo del proyecto fue necesario que el grupo de trabajo definiera y seleccionara todos los recursos implicados en la elaboración de los entregables, dentro de los cuales se estableció un recurso humano que con sus conocimientos y habilidades guiaran al grupo de trabajo en el tema de la cimentación y principios de funcionamiento de las celdas eólicas, para esto se hizo necesaria la ayuda de un Ingeniero civil (cimentación) y un Ingeniero Eléctrico (principios de funcionamiento). Para la configuración de los planos, el grupo de trabajo recurrió a un Arquitecto, quien mediante de un Software especializado, logró plasmar en el mismo cada uno de los componentes de las celdas eólicas, incluyendo sus medidas, acotaciones y especificaciones técnicas.

Por otra parte, al realizar la estimación de los costos del proyecto, se incluyeron todos aquellos costos que directa o indirectamente eran cargados al presupuesto

del proyecto, desde servicios prestados por parte del Recurso Humano seleccionado, tanto para los servicios de comunicación interna y/o externa (Teléfono e Internet), incluyendo la energía eléctrica para el funcionamiento de los equipos, hasta los consumibles empleados para plasmar en medio físico los entregables del proyecto. Dicho presupuesto se elevó hasta los **\$3.360.919,71 COP**.

El proyecto desarrollado implicó investigación por parte del grupo de trabajo a proveedores especializados en diseñar e implementar celdas eólicas, para lo cual se tuvo en cuenta el proveedor que brindara al grupo de trabajo un portafolio de productos que se ajustara a las condiciones de la ciudad de Cartagena, seleccionando a Gamesa como el proveedor. El criterio utilizado fue la adaptabilidad de la celda eólica ofrecida por Gamesa al estado de vientos de la ciudad. Dicha celda funciona y produce energía eléctrica a velocidades de viento relativamente bajas (mínima velocidad de arranque: 4m/s), teniendo en cuenta que la velocidad del viento en la ciudad de Cartagena es de 9,26 a 18,52 Km/ h.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones planteadas hacen referencia a la observación y seguimiento de los resultados del proyecto experimental de energía eólica, llevados a cabo en el parque Jepírachi, en la región de La Guajira, a fin de que este sirva de proyecto guía y/o apoyo a la hora de iniciar la implementación de proyectos relacionados con celdas eólicas en el país.

Se hace necesaria la implementación de proyectos referentes a la generación de energías por fuentes renovables, ya que estas por ser de un recurso inagotable, estarán disponibles en el momento que sea necesario. Dicha implementación implicaría la reducción de productos fósiles para producir energía eléctrica y, por consiguiente, la reducción del impacto ambiental producido al medio ambiente por parte de las actividades para la generación de energía. Los beneficios que se obtendrían de dicha implementación sería el de satisfacer las necesidades de un mundo hambriento de electricidad, sin dañarlo.

ANEXOS

Anexo 1: Cuadro de Control de Cambios del Alcance

<p>Detalles del Proyecto</p> <p>Nombre del Proyecto: Diseño De Celdas Eólicas y Creación de Documento Guía de Montaje para la generación de energía limpia en la Ciudad de Cartagena de Indias.</p> <p>Director del Proyecto: Fabián Gazabón Arrieta</p>	
<p>Detalles del Cambio::</p> <p>Número del Cambio: 2</p> <p>Solicitante del Cambio: Director de Proyectos</p> <p>Fecha de Solicitud del Cambio: Febrero de 2010</p>	
<p>Descripción del Cambio:</p> <p>Se permitió realizar cambios al documento con respecto a los entregables, donde se modificaron el de los entregables del proyecto. El ajuste fue realizado a la información que debería contener el documento guía y los diseños.</p>	<p>Razones del Cambio:</p> <p>Se permitió el cambio debido a que el alcance del proyecto anterior era muy general y el nivel de detalle de los entregables era bajo.</p>
<p>Beneficios del Cambio:</p> <p>Permite obtener un alcance más detallado de lo que se debe realizar en los entregables.</p>	
<p>Detalles del Impacto:</p> <p>El cambio realizado genero una revisión total del documento a fin de hacerlo coincidir con las demás áreas de conocimiento.</p>	

Anexo 2: Acta de Reuniones del Proyecto

DISEÑO DE CELDAS EÓLICAS Y CREACIÓN DE DOCUMENTO GUÍA DE MONTAJE PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA LIMPIA EN LA CIUDAD DE CARTAGENA DE INDIAS	
ACTA DE REUNION	
Objetivo:	
Responsable(s)	Firma(s)
Asistente(s)	Firma(s)
Anotaciones	

BIBLIOGRAFÍA

Gil, Maritza. Tipos de Investigación. Disponible en <http://www.ucla.edu/ve/dmedicin/departamentos/medicinapreventivasocial/SEB/investigacion/tiposinvestigacion.pdf>

León, Hugo. Proyecto Piloto para la investigación de energía eólica en Colombia. Colombia. Pág.7. Consultado el 10 de Abril 2010

Mora, Agudelo y Dyner, Energía Eólica en Colombia: Una aproximación desde las opciones reales. Colombia. Pág.2

PMI (2004). Guía del PMBOK. 3ra Edición. EE.UU, Pennsylvania. Capitulo 4, Pág. 77.

Rodríguez, Luis. La energía eólica como posibilidad de aprovechamiento. Colombia: 2006. Pág. 1. Disponible en <http://www.eppm.com/epm/institucional/general/jepriachi1.pdf> . Consultado el 3 Noviembre de 2009.

Sánchez, Ana. Energía Eólica. España. Pág. 1. Disponible en <http://193.146.36.56/loriz/trabajos0708/ENERGIA%20EOLICA-%20Ana%20Sanchez%20Hermida.pdf> . Consultado el 10 de Abril de 2010.

Actualidad de la Industria Eólica. EOLUS. 43va Edición. España, Barcelona. Pág. 22 - 23. Consultado el 10 de Abril de 2010.

DANE (2006). Clasificación Industrial Internacional Uniforme. Edición 3.1. Colombia, Bogotá D.C. Pág.29.

Danish Wind Industry Association. Disponible en <http://guidedtour.windpower.org/es/tour/wtrb/electric.htm>. Consultado el 10 de Abril de 2010.

Empresas Públicas de Medellín (EPM). Parque Eólico Jeparachí. Colombia. Pág.1 - 2. Consultado el 10 de Abril 2010.

EOLUS. Actualidad de la industria eólica. 43 Edición. 2009. España, Barcelona. Pág. 13. Consultado el 10 de Abril de 2010.

Gamesa Corp. España, Barcelona. Disponible en: <http://www.gamesacorp.com/es/gamesa>. Consultado el 10 de Abril de 2010.
Ecotecnia. España, Barcelona. Disponible en: <http://www.ecotecnia.com>. Consultado el 10 de Abril de 2010.

NORDEX. Alemania. Disponible en: <http://www.nordex-online.com/en/company-career/history.html>. Consultado el 10 de Abril de 2010.

Partes de un aerogenerador. Disponible en: <http://www.renovables-energia.com/2009/09/componentes-de-un-aerogenerador/>. Consultado el 11 de Abril de 2010.

Powerwind. Alemania, Hamburgo. 2007. Disponible en: <http://www.powerwind.de/site/eng/company.htm>. Consultado el 10 de Abril de 2010.

Secretaría de Energía de Argentina. Energías Renovables 2008 - Energía Eólica. Argentina: 2008. Pág. 5. Disponible en <http://www.argentina.ar/advf/documentos/491200ac76e0c3.00845010.pdf> . Consultado el 12 de Mayo de 2009.

Sistemas de Generación eléctrica para aerogeneradores. Curso RED RIGE-UTE. Capítulo 1, Pág.1. Uruguay, Montevideo. Consultado el 11 de Abril de 2010.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Minor en Gestión de Proyectos

DISEÑOS Y DOCUMENTO GUIA PARA EL MONTAJE DE CELDAS EÓLICAS
PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA LIMPIA EN LA CIUDAD DE
CARTAGENA DE INDIAS

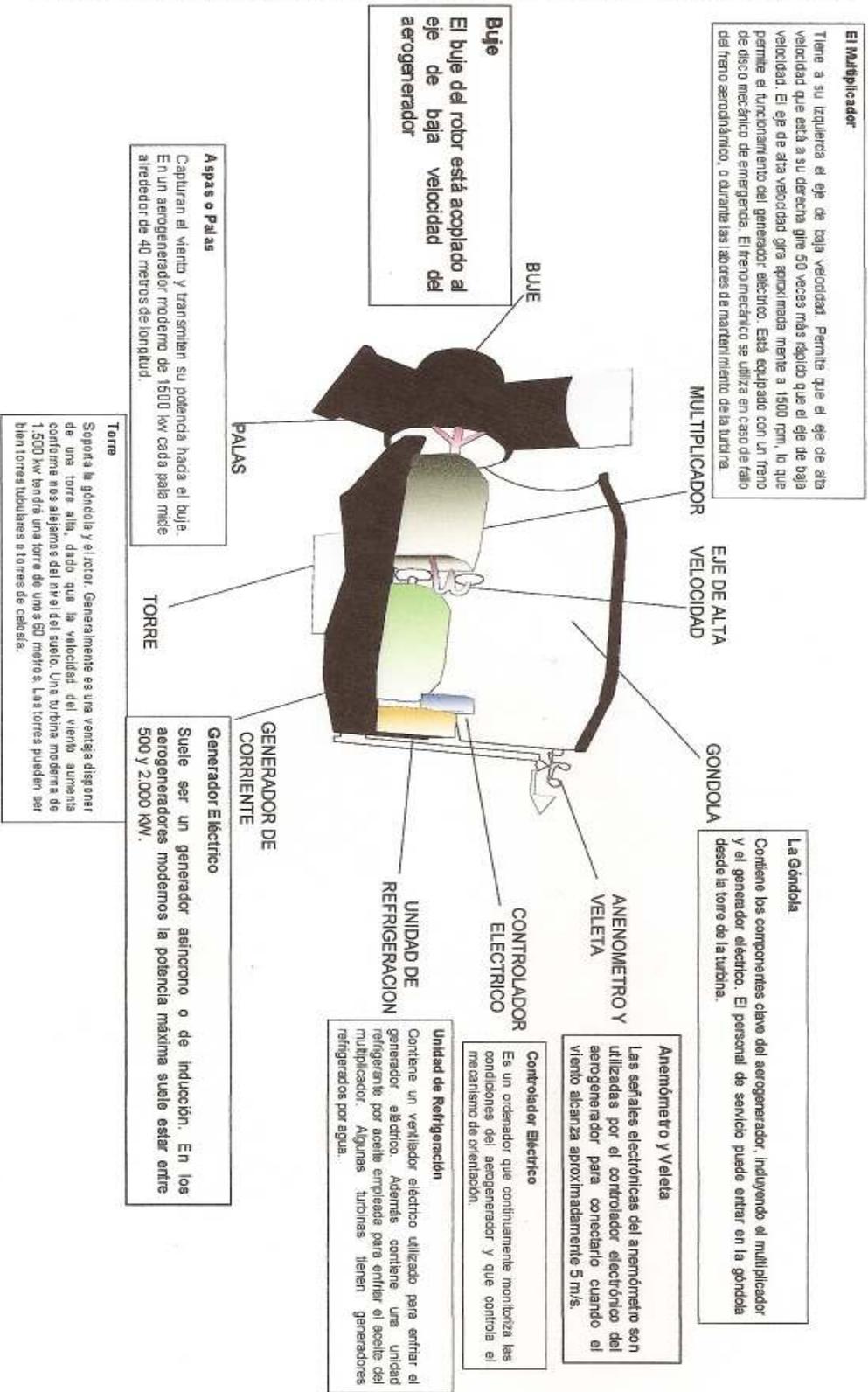
FACULTAD DE INGENIERÍAS

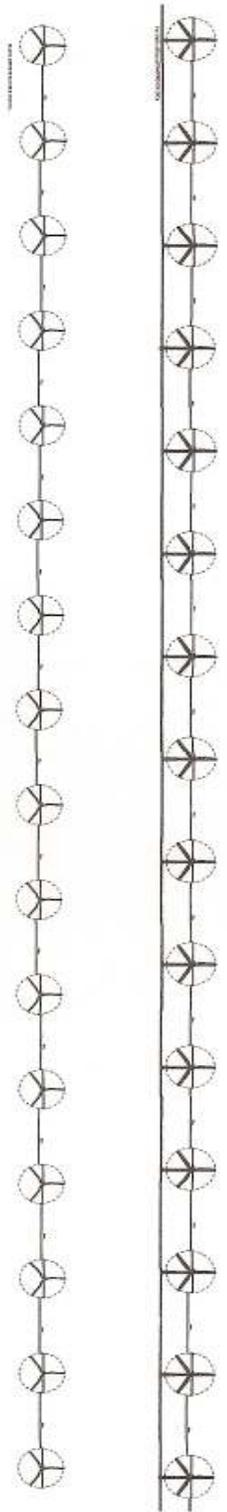
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CARTAGENA DE INDIAS

14 DE ABRIL DE 2010

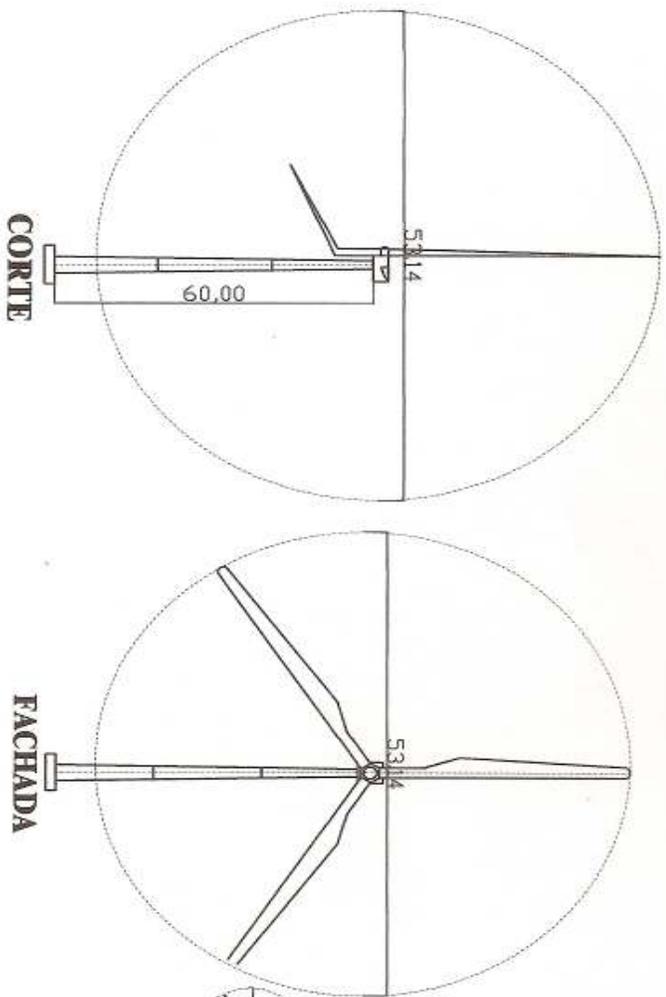
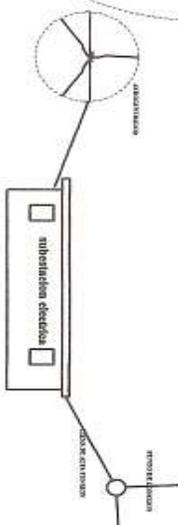
PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK



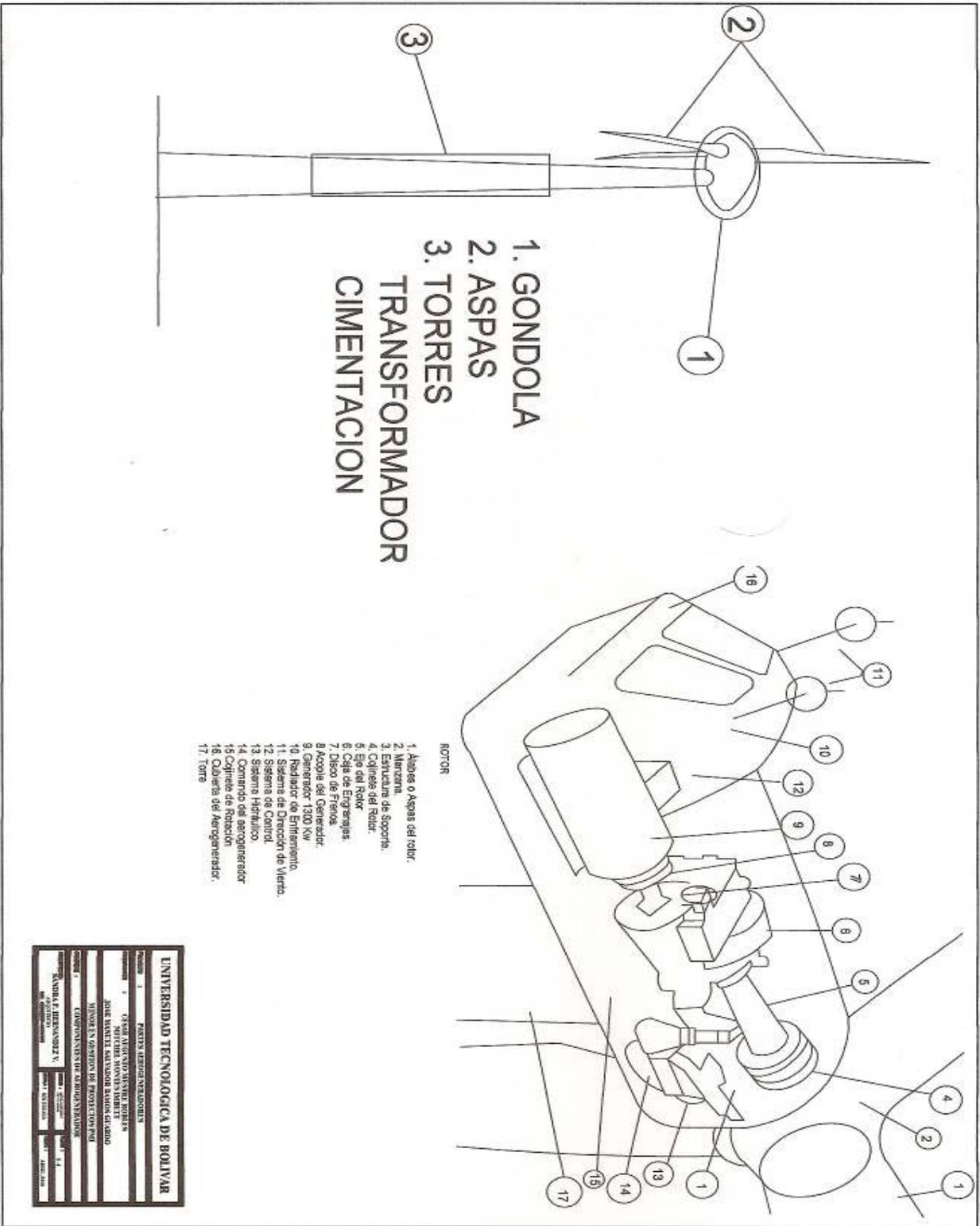


CELDA EOLICA COMPLETA

ESQUEMA LOGICO DE AEROGENERADORES



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR	
ALDEAS NÚMEROS	
CARRERA 1 - ESTUDIOS DE INGENIERÍA EN ENERGÍA ELÉCTRICA	
MATERIA: ANÁLISIS DE SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
PROFESOR: JORGE MANUEL SALVADOR RAMÍREZ GARCÍA	
NOMBRE DEL ESTUDIANTE DE INGENIERÍA EN ENERGÍA ELÉCTRICA	
FECHA DE ENTREGA DEL PRODUCTO EDUCATIVO	
NOMBRE DEL ESTUDIANTE	
FECHA DE ENTREGA DEL PRODUCTO EDUCATIVO	
NOMBRE DEL ESTUDIANTE	
FECHA DE ENTREGA DEL PRODUCTO EDUCATIVO	

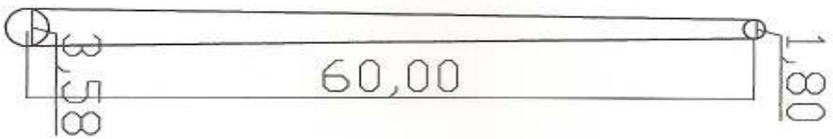


TORRE

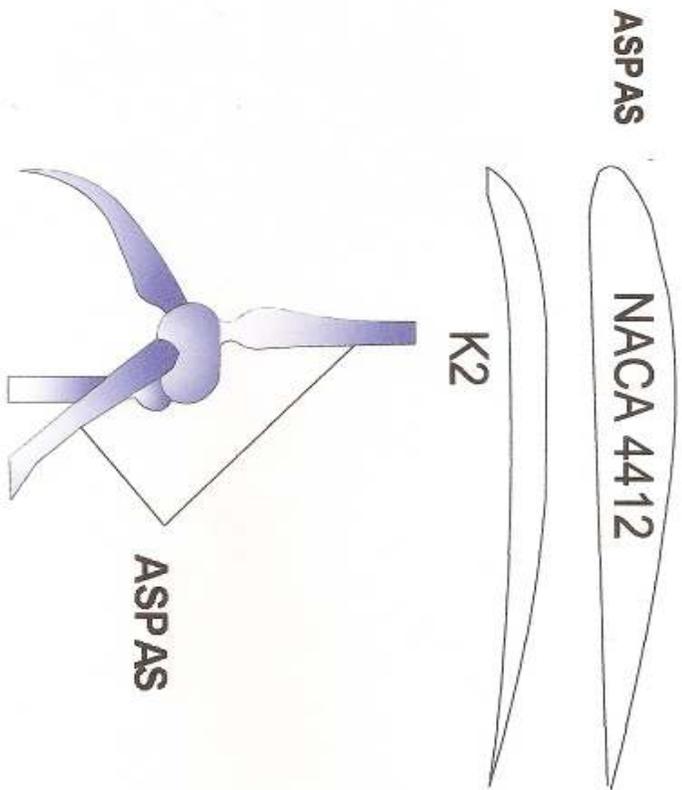
TIPO TRONCO- CONICA DE ACERO
ALTURA 60m
DIAMETRO SUPERIOR 1.80 m
DIAMETRO INFERIOR 3,58 m
COLOR RAL 7035
PROTECCION CONTRA CORROSION CLASE 4 (NORMAS ISO 9332, ISO 9224 Y EN 10025)

La torre del aerogenerador soporta la góndola y el rotor.

En los grandes aerogeneradores las torres tubulares pueden ser de acero, de celosía o de hormigón. Las torres tubulares tensadas con vientos sólo se utilizan en aerogeneradores pequeños (cargadores de baterías, etc.).



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR	
NOMBRE DEL PROYECTO: TORRE	
AUTOR: JORGE ALBERTO GARCÍA	
FECHA: 2010	
LUGAR: CALI	
CARRERA: INGENIERÍA DE SISTEMAS	
PROFESOR: JORGE ALBERTO GARCÍA	
ESTUDIANTE: JORGE ALBERTO GARCÍA	
CÓDIGO: 101010101	
FECHA DE ENTREGA: 2010	
FECHA DE CALIFICACIÓN: 2010	
FECHA DE DEFENSA: 2010	



Díámetro.

El aspa de mayor diámetro captará más viento, por lo que puede generar más electricidad a determinada velocidad del mismo.

Proporción de la velocidad de la punta del aspa (PVA)

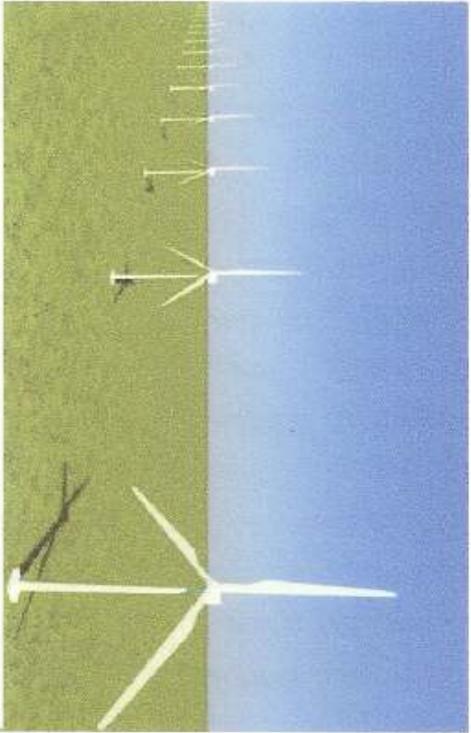
Esta proporción es la velocidad a la que el aspa debe girar respecto de la velocidad del viento. La velocidad de giro del eje depende de la velocidad de giro de las puntas de aspa y su diámetro, o sea:

$$RPM = \text{Velocidad del viento} \times PVA / (\text{Díámetro} \times \pi).$$

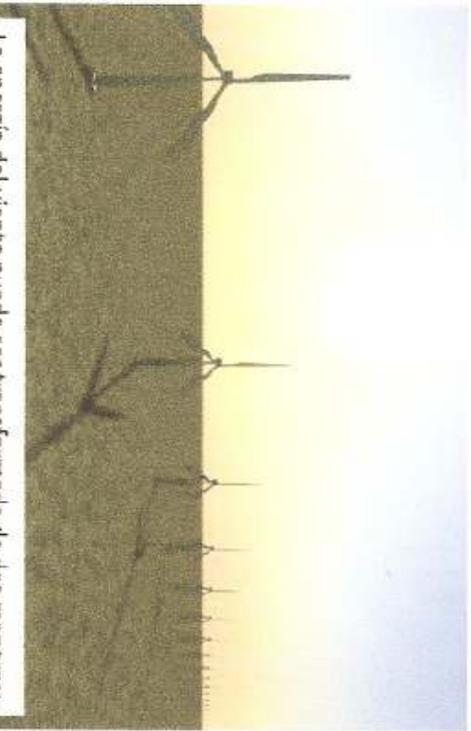
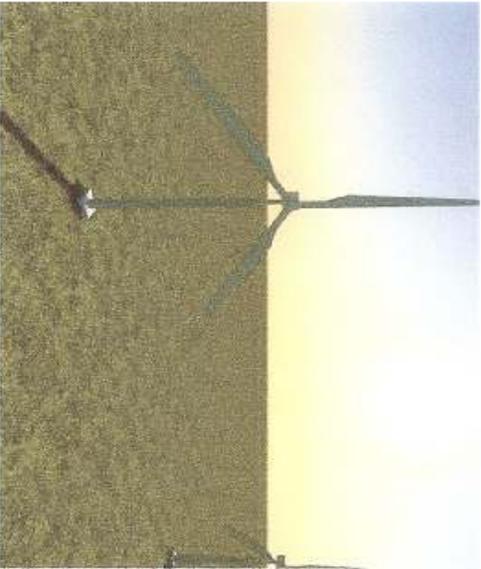
Un rotor de dos aspas gira más rápidamente que uno de tres. Pero un rotor de tres aspas girará más suavemente que el otro.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN ENERGÍA ELÉCTRICA	
CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA ELÉCTRICA	
PROFESOR: JORGE MANUEL NAVARRO BARRONCELERANO	
ASISTENTE TECNOLÓGICO: GILBERTO GONZÁLEZ	
ESTUDIANTE: DANIELA F. BARRANQUILLA	
FECHA:	2017-04-11
TIPO:	TRABAJO
GRUPO:	01

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK



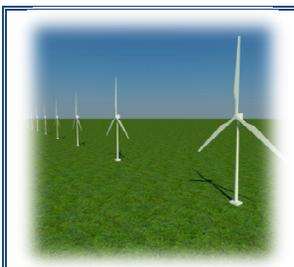
- . Las clases de aerogeneradores mas importantes son:
- . Aerogeneradores de eje horizontal
- . Aerogeneradores de eje vertical



- La energía del viento puede ser transformada de dos maneras:
- . En energía mecánica útil
 - . En electricidad

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
GRUPO ACADÉMICO: SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
PROFESOR: DR. JOSÉ ANTONIO GARCÍA	
ALUMNO: VICTOR J. GARCÍA	
MATERIA: SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
FECHA: 10/05/2017	
LUGAR: BOGOTÁ	



DOCUMENTO GUÍA PARA EL ENSAMBLE DE CELDAS EÓLICAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA DE INDIAS

1. OBJETIVO:

Crear una guía que permita llevar a cabo el ensamble de celdas eólicas para la generación de energía limpia en la ciudad de Cartagena de Indias, con el propósito de promover el uso de fuentes alternas de energía en la ciudad, aprovechando los recursos naturales del sector.

2. ALCANCE:

En este documento se proporcionarán instrucciones y procedimientos requeridos para ejecutar el ensamble de las celdas eólicas en la ciudad de Cartagena de Indias, así como también la información técnica del aerogenerador Gamesa G 39 / 500, seleccionado por el Team del Proyecto.

3. CONDICIONES GENERALES:

- Este documento se realizó con previo conocimiento de la información seleccionada por el Team del Proyecto, relacionada con las especificaciones técnicas del aerogenerador y del proveedor (Gamesa).
- Este documento se realizó teniendo como base el proceso de implementación de celdas eólicas en el parque eólico Jepírachi en la región de la guajira.
- El presente documento fue consolidado posteriormente a la entrega de los diseños de las celdas eólicas por parte del personal contratado.

Al implementar este proyecto por parte de un inversionista en la ciudad de Cartagena de Indias, se debe tener en cuenta:

- Realizar las actividades con personal calificado y con experiencia.
- El personal seleccionado para participar en la construcción debe usar los elementos de seguridad industrial con el fin de evitar daños y lesiones personales.
- Se deben realizar inspecciones periódicas de las actividades ejecutadas.
- Inspección de las condiciones del área a construir.

4. DEFINICIONES:

A continuación se definirán términos propios de las celdas eólicas que permitan al usuario de este documento conocer las generalidades de los componentes que integran el aerogenerador.

- **Aerogeneradores o Celdas Eólicas**

Son máquinas que convierten la energía mecánica en energía eléctrica. Consisten en un dispositivo compuesto por un sistema mecánico de rotación o rotor provisto de aspas o palas que con la energía cinética del viento mueven un generador eléctrico, conectado al sistema motriz.

- **Parque Eólico**

Es una instalación que tiene la finalidad de generar energía eléctrica a partir del viento; también llamada energía eólica, compuesto de un número determinado de aerogeneradores, establecido por los ingenieros a cargo del parque.

- **Torre**

Soporta la góndola y el rotor. Generalmente es una ventaja disponer de una torre alta, dado que la velocidad del viento aumenta proporcionalmente a la altura.

La mayoría de los grandes aerogeneradores se entregan con torres tubulares de acero, fabricadas en secciones de 20 - 30 metros con bridas en cada uno de los extremos, y son unidos con pernos "in situ". Las torres son tronco-cónicas (es decir, con un diámetro creciente hacia la base), con el fin de aumentar su resistencia y al mismo tiempo ahorrar material. En los grandes aerogeneradores las torres tubulares pueden ser de acero, de celosía o de hormigón.

- **Generador Eléctrico:** *En un aerogenerador se transforma energía cinética del viento en energía mecánica mediante el giro del rotor eólico. Se transforma en energía eléctrica mediante una máquina eléctrica, que opera en modo generador de energía eléctrica, gracias al giro del eje del rotor del aerogenerador, provocado por la acción del viento sobre las aspas.*

- **Aspas:** *Las aspas del aerogenerador capturan el viento y transmiten su potencia hacia el buje, en un aerogenerador moderno cada pala mide alrededor de 40 metros de longitud. En su mayoría los aerogeneradores tienen tres palas, por diseños del fabricante.*

- **Rotor:** Es el subsistema formado por las aspas, el cubo, que es el elemento al que se ensamblan las aspas y mediante el cual la potencia captada por el rotor se transmite a la flecha principal, y la nariz, que es una cubierta frontal en forma de cono que sirve para desviar el viento hacia el tren motor y mejorar la ventilación en el interior, eliminar turbulencia indeseable en el centro frontal del rotor y mejorar el aspecto estético. La función del rotor es convertir la energía cinética del viento en la energía mecánica que se utiliza para impulsar el generador eléctrico.
- **Góndola o Nacelle:** La cual contiene los componentes clave del aerogenerador, incluyendo el multiplicador y el generador eléctrico. El personal de servicio puede entrar en la góndola desde la torre de la turbina.

5. DOCUMENTOS DE REFERENCIA E INFORMACION TECNICA

Los documentos de referencia empleados para la realización de este documento guía para el ensamble de celdas eólicas, son los siguientes:

- Trabajo integrador “DISEÑO DE CELDAS EÓLICAS Y CREACIÓN DE DOCUMENTO GUÍA DE ENSAMBLE PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA LIMPIA EN LA CIUDAD DE CARTAGENA DE INDIAS”.
- Manuales de fabricantes (Gamesa – Gamesa G 39/500).

Dichos documentos fueron tenidos en cuenta para el soporte de la información y descripción de los procedimientos aquí descritos. El trabajo integrador permitió ajustar los criterios de aceptación del proyecto a este entregable, mientras que los manuales del fabricante aportaron la información técnica necesaria de los componentes de las celdas eólicas.

6. RESPONSABLES DEL PROYECTO:

Entre los responsables del Proyecto se encuentran:

- Team del Proyecto
- Director del Proyecto

Los anteriores son los responsables de ejecutar y realizar el seguimiento del proyecto. El Team del Proyecto, cuya función fue consolidar el presente documento realizó investigaciones a proveedores experimentados en la construcción de aerogeneradores y llevar a cabo la definición de los procedimientos para el ensamble de las celdas. Por otra parte, el Director del Proyecto fue el encargado de la verificación de los criterios de aceptación de para este entregable, y comparar qué tanto se ajustan estos a la realidad del

mismo.

7. DESCRIPCION DE LOS PROCEDIMIENTOS:

7.1 Inspección de áreas para construcción.

Primeramente, se adecuará el área o el terreno destinado para el ensamble de las celdas eólicas. Es importante inspeccionar el área total sobre la cual se construirán las celdas, con el fin de que este cumpla las dimensiones establecidas en el diseño; y así poder realizar la construcción sin inconveniente alguno en lo referente a estabilidad y seguridad del terreno. A la hora de la implementación, es importante estudiar y analizar la dirección y velocidad del viento, con el fin de dar una posición a los aerogeneradores, de tal forma que se aproveche al máximo la capacidad de cada máquina instalada.

7.2 Construcción de mallas de seguridad del área.

Es importante antes de iniciar el ensamble, la construcción de mallas de seguridad alrededor del campo en construcción e implementar mecanismos de seguridad tales como mallas electrificadas y alambrado de seguridad, con el fin de proporcionar seguridad al área en construcción y en un futuro, del área construida. Las especificaciones de estas dependen de la selección del tipo de mallas que elija el equipo a cargo de la implementación, bajo previa aprobación.



Figura 1. Mallas de Seguridad

7.3 Construcción de Oficina de Seguridad

Desde esta se visualizará la seguridad de toda el área mediante cámaras. Las especificaciones de las construcciones y seguridad de las instalaciones dependen del equipo a cargo del proyecto.

7.4 Instalación de aerogeneradores

A continuación se procederá a detallar los procedimientos necesarios para el ensamble y construcción de las celdas eólicas o aerogeneradores, en un área previamente dispuesta para tal fin. Se describirán cada uno de los pasos del ensamble, desde la cimentación del terreno, hasta el montaje de cada uno de

los componentes de la celda eólica.

7.4.1 Transporte de los componentes al sitio de instalación.

Debido al gran tamaño de los componentes de los aerogeneradores, se hace necesario un equipo y vehículos especiales para el transporte de las partes que conformarán la celda eólica, que sean capaces de soportar el peso y permitir el transporte de manera segura de dichos componentes. En los mercados más grandes, generalmente es mejor no transportar los componentes de los aerogeneradores por carretera más de 1000 km. En el caso de que la distancia sea superior, el aerogenerador suele fabricarse localmente⁴⁹.

Transporte de Góndola o Nacelle

El transporte de la Góndola, puede ser realizado empleando un equipo portanacelle, diseñado específicamente para cargas que exceden las dimensiones normales de transporte por carretera, como una alternativa en caso de la ausencia de portanacelle, puede emplearse un tráiler convencional.



Figura 2. Transporte de Góndola o Nacelle⁵⁰

⁴⁹ Danish Wind Industry Association. Disponible en <http://guidedtour.windpower.org/es/tour/manu/towerm.htm>

⁵⁰ Rodríguez, Luis. La energía eólica como posibilidad de aprovechamiento – Parque eólico Jepirachi. Colombia: 2006. Pág. 25

Transporte de la Torre

El transporte de la Torre se realiza por medio del embarque de las secciones de la misma en un buque desde la ciudad de origen del proveedor, hasta el puerto de destino, como se muestra a continuación.



Figura 3. Transporte de la Torre en secciones⁵¹.

Para el transporte de la Torre del aerogenerador o celda eólica en carretera, puede ser empleado un tráiler o equipo portatubos. Cabe aclarar que la torre es transportada en secciones de 20 metros cada una, y el equipo de transporte debe proveer seguridad para evitar daños a la torre durante el traslado de la misma.

Los pesos de las torres han disminuido alrededor del 50 % en los últimos cinco años gracias a métodos de diseño más avanzados. Aunque la torre todavía sigue siendo una parte del aerogenerador bastante pesada, por lo que los costes de transporte son importantes⁵².

⁵¹ Rodríguez, Luis. La energía eólica como posibilidad de aprovechamiento – **Parque eólico Jepirachi**. Colombia: 2006. Pág. 28

⁵² Danish Wind Industry Association. Disponible en <http://guidedtour.windpower.org/es/tour/manu/towerm.htm>.

Transporte de las Aspas

Las aspas, al igual que el resto de partes de la celda eólica, provienen de puertos europeos donde han sido fabricados, la siguiente figura muestra el transporte de las aspas en el puerto de destino:



Figura 4. Transporte por tierra de las aspas⁵³.

Del mismo modo, las aspas o palas de las celdas eólicas pueden ser transportadas en camiones equipados con un contenedor de palas que provea seguridad y estabilidad a las aspas para evitar que el movimiento del vehículo perjudique el buen estado de los componentes.

7.4.2 Construcción de la base.

Para las especificaciones del aerogenerador Gamesa G 39/ 500, las bases tendrán unas dimensiones (Ancho x Largo x Profundidad) de 10m x 10m x 2m, con comportamiento flexible y sometido a elevados momentos.

A continuación se mencionan los pasos que se deben seguir para la construcción de la base de un aerogenerador, este proceso se debe repetir para cada uno de los 15 aerogeneradores a ensamblar.

⁵³ Rodríguez, Luis. La energía eólica como posibilidad de aprovechamiento. **Parque Eólico Jepírachi** .Colombia: 2006. Pág. 30

7.4.1.1 Excavación de la Base. Una vez realizados los estudios de suelos por parte del personal calificado para tal fin, se procede a la excavación, para realizar la base de la cual estará soportada la torre del aerogenerador. La siguiente imagen muestra la excavación de la base para su posterior adecuación con hormigón y varillas de acero.

La maquinaria a utilizar para realizar el proceso de excavación, es una retroexcavadora, que es una máquina autopropulsada, sobre neumáticos u orugas, con una estructura capaz de girar al menos 360° en un sentido y en otro y de forma ininterrumpida que realiza todas las operaciones requeridas para excavar la base, por la acción de la cuchara.



Figura 5. Base excavada para el aerogenerador⁵⁴

7.4.1.2 Formación de Estructura en Acero. Luego de las excavaciones, se procede a crear una estructura metálica con varillas o barras de acero que brindarán la fortaleza y rigidez al cemento base que soportara al aerogenerador, como se muestra en la siguiente fotografía:



Figura 6. Armado de la base de la torre⁵⁵

⁵⁴ Rodríguez, Luis. La energía eólica como posibilidad de aprovechamiento. **Parque Eólico Jepirachi**. Colombia: 2006. Pág. 25

7.4.1.3 Vertimiento de la mezcla.

Posterior al armado de la base con las varillas de acero, se realiza el vertimiento de la mezcla de hormigón, que dará origen a la estructura final. Dicho vertimiento puede ser realizado por camiones mezcladores o Mixers por su nombre en inglés, los cuales trasladan la mezcla desde la planta de fabricación del concreto hasta ponerlo en la obra.

La figura siguiente ilustra el momento en que ha sido vertida la mezcla, siendo ésta acomodada por los obreros, para evitar que queden burbujas de aire.



Figura 7. Vertimiento de la Mezcla de la Base⁵⁶

⁵⁵ Rodríguez, Luis. La energía eólica como posibilidad de aprovechamiento. **Parque Eólico Jepírachi**. Colombia: 2006. Pág. 25

⁵⁶ Rodríguez, Luis. La energía eólica como posibilidad de aprovechamiento. Colombia: 2006. Pág. 26

7.4.1.4 Inspección de la Base.

Por último se realiza una inspección final de la base, revisando que los parámetros de dureza especificados por los ingenieros de la obra sean los adecuados para soportar el peso del aerogenerador, habilitando así el montaje de los componentes.



Figura 8. Inspección de la Base de la Torre⁵⁷

7.4.3 Instalación de la Torre.

Una vez finalizada la construcción de la base, se procede a instalar la torre, la cual soportará el resto de componentes de la celda. El proveedor fabrica la torre dividida en tres partes iguales, para ser ensambladas posteriormente. En primer lugar, se especificará la información técnica de la torre en el siguiente cuadro, para luego describir sus procedimientos de ensamble:

Información Técnica	
Tipo	Tronco Cónico de Acero
Altura	60 m
Diámetro Superior	1,8 m
Diámetro Inferior	3,58 m
Peso	108.000 KG
Color	BLANCO RAL 7035

⁵⁷ Rodríguez, Luis. La energía eólica como posibilidad de aprovechamiento. Colombia: 2006. Pág. 26

Una vez en el sitio de construcción, se colocan las secciones de la Torre en la base de la celda eólica, empleando grúas de celosía, las cuales son capaces de soportar el peso de las partes y tienen facilidad de movimiento en 360°. La siguiente figura muestra el proceso descrito anteriormente:



Figura 9. Posicionamiento de Partes de la Torre⁵⁸

La primera parte de la torre está unida con pernos a la cimentación de hormigón sobre la que reposa. Las secciones superiores están unidas por medio de bridas y pernos.



Uniones de Secciones con Bridas

Las secciones de la torre de un aerogenerador son atornilladas utilizando bridas de acero laminado en caliente, luego son soldados los extremos de cada sección de la torre. Las bridas están fabricadas en acero calmado⁵⁹.

nión de la torre

⁵⁸ Rodríguez, Luis. La energía eólica como posibilidad de aprovechamiento. **Parque Eólico Jepirachi**. Colombia: 2006. Pág. 31

⁵⁹ Danish Wind Industry Association. Disponible en <http://guidedtour.windpower.org/es/tour/manu/towrassy.htm>



Unión con pernos

En la figura se muestra la manera como se deben unir entre sí las diferentes secciones en el interior de la torre.

La calidad de las bridas y la tensión en los pernos son parámetros importantes para la seguridad de las torres de aerogeneradores⁶⁰.

. unión de la torre

Una vez ensambladas todas las partes, éstas son reforzadas con soldadura en la parte interior y exterior de todas las uniones de ensamble, como lo muestra la siguiente figura:



Figura 12. Soldadura de Torres

7.4.4 Instalación de la Góndola o Nacelle.

La góndola a instalar en este proyecto, presenta las siguientes especificaciones técnicas:

ESPECIFICACIONES TECNICAS	
COMPONENTES PRINCIPALES DE LA GONDOLA	
Turbina	Generador de 4 polos y 500 Kw
Rotor	Equipado con 3 palas Aerodinámicas
Posición	A barlovento (con la cara frente al viento)
Diámetro	39 m
Área Barrida	1.195 m ²
Velocidad de rotación	30 Revoluciones por minuto
Altura del eje principal	40.5 m
Peso rotor completo	6.700 Kg

⁶⁰ Danish Wind Industry Association. Disponible en <http://guidedtour.windpower.org/es/tour/manu/towrassy.htm>

Una vez se ha finalizado la instalación de la torre, la Góndola es colocada en el último tramo de la torre, empleando la misma grúa de celosía del paso anterior (Instalación de la Torre), como se señala en la siguiente figura:



Figura 13. Montaje de Góndola en la Torre⁶¹

Una vez finalizado el ensamble de la torre se procede a ensamblar la góndola y posteriormente a hacer la pertinente instalación con la subestación eléctrica.

En el siguiente cuadro se muestran las especificaciones del generador eléctrico, el cual está instalado dentro de la góndola. Se menciona de manera general el tipo de instalación del generador a la red eléctrica del parque eólico, y la velocidad de arranque/parada para su funcionamiento.

El generador eléctrico seleccionado para el aerogenerador Gamesa G 39/500 es de tipo asíncrono trifásico ó llamado también de inducción. Fue seleccionado así, ya que la mayoría de los fabricantes de aerogeneradores a nivel mundial utilizan este tipo de generador para producir corriente alterna. Otra de las razones para la elección de este tipo de generador es que tiene propiedades mecánicas que lo hacen especialmente útil en turbinas eólicas.

El generador Gamesa escogido para el proyecto tiene 4 polos, con 500 KW de potencia. Además trabaja a 30 revoluciones por minuto (rpm), ya que los grandes aerogeneradores trabajan entre 20 y 100 rpm, este también tiene un peso de 52.000 Kg.

⁶¹ Rodríguez, Luis. La energía eólica como posibilidad de aprovechamiento. **Parque Eólico Jepirachi**. Colombia: 2006. Pág. 31

**ESPECIFICACIONES TECNICAS
GENERADORES**

Modelo	Gamesa G 39 / 500
Sistema de frenado	Aerodinámico y mecánico
Sistema de orientación	Eléctrico activo
Peso Total del Generador Eléctrico	52.000 kg
Altura del Generador Eléctrico	60 m dentro de la góndola (Altura de ubicación del generador).
Alimentación	A la red principal, a través de una subestación conectada a los generadores mediante tendido eléctrico subterráneo.
Velocidad del viento mínima de arranque	4 m/s
Velocidad del viento para frenar	25 m/s

7.4.5 Instalación del Rotor.

La función del rotor es convertir la energía cinética del viento en la energía mecánica que se utiliza para impulsar el generador eléctrico.

El rotor seleccionado para el presente proyecto, está conformado por tres aspas aerodinámicas, de 39 metros de diámetro y un peso de 6.700 Kg.

Como se aclaró en la sección de Definiciones, el Rotor está compuesto por las Aspas, el Cubo y la Nariz del aerogenerador. A continuación se muestran las especificaciones técnicas de las aspas que van ensambladas en el rotor:

**ESPECIFICACIONES TECNICAS
ASPAS**

Número de palas	3
Longitud total	19 M
Alabeo	15°
Frenos aerodinámicos	Por giro total de las aspas
Peso	1100 Kg / Unidad
Peso con plesa de acoplamiento	1500 Kg / Unidad

El aerogenerador seleccionado se basa en el concepto danés, que consiste en la construcción de la celda eólica usando tres aspas, dichas aspas tienen una longitud total de 19 metros, con un peso de 1100 Kg cada una. Además estas están sujetas por medio de una plesa o empaque de acoplamiento, con ésta el peso total de las aspas se aproxima a los 1500 Kg cada una.

Para el montaje del rotor hay dos formas:

- La primera consiste en el montaje aspa por aspa. Esta manera de instalación requiere menor espacio de maniobra con la grúa de celosía y permite que el montaje se realice con mayor rapidez. Una vez que la Góndola está instalada, se suben el Cubo y la Nariz, para subir posteriormente las aspas de manera horizontal una a una. Una vez arriba el personal de apoyo las acopla al Cubo del Rotor, como se muestra en la siguiente figura:



Figura 14. Montaje del Rotor, Aspa por Aspa⁶²

- La segunda manera de ensamblar el rotor es realizando el procedimiento en tierra, acoplado las tres palas al buje, para su posterior elevación con la grúa de celosía. Éste método requiere mayor espacio de maniobra por parte de la grúa, incrementando el tiempo de ensamble del rotor. En la siguiente figura se muestra lo descrito en este método:

⁶² Rodríguez, Luis. La energía eólica como posibilidad de aprovechamiento. **Parque Eólico Jepirachi**. Colombia: 2006. Pág. 32



Figura 15. Montaje del Rotor, Uniendo las Aspas al Buje en tierra⁶³

Una vez se han realizado todos estos procedimientos, la celda eólica se encuentra lista para operar e iniciar el proceso de producción de energía.

8. RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y DE SALUD OCUPACIONAL:

Para la fase de implementación de este proyecto, las personas involucradas podrán acceder al área en construcción siempre y cuando usen todos los elementos de seguridad requeridos. Es importante mencionar que algunos trabajos requieren elementos de seguridad especiales, los cuales serán suministrados por las personas a cargo del proyecto. De no ser utilizados estos para sus fines, se pondría en riesgo la vida de las personas.

⁶³ Rodríguez, Luis. La energía eólica como posibilidad de aprovechamiento. **Parque Eólico Jepirachi**. Colombia: 2006. Pág. 32