

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA EÓLICO PARA LA
GENERACIÓN Y ACUMULACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”**

AUTOR:

SCHWEITZER JÁCOME HERIBERTO MATIAS

DIRECTOR:

ING. FABIO OBANDO HERRERA

QUITO, ABRIL DEL 2012

Certifico que el presente trabajo, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico ha sido realizado en su totalidad por el señor Heriberto Matias Schweitzer Jácome.

Los conceptos desarrollados, análisis, cálculos realizados, conclusiones y recomendaciones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Atentamente:

Ing. Fabio Obando Herrera

DIRECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN

Yo, Heriberto Matias Schweitzer Jácome, declaro bajo juramento que el trabajo realizado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en el presente documento.

A través de esta declaración, cedo el derecho de propiedad intelectual correspondiente de este trabajo a la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y normatividad vigentes.

Heriberto Matias Schweitzer Jácome

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, quienes con mucho esfuerzo y dedicación me han sabido ayudar en toda esta etapa de mi vida como estudiante.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento es para mi Padre que hizo posible el desarrollo de esta tesis.

A los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana que me supieron impartir sus conocimientos y amistad a lo largo de toda la carrera.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En muchas de las zonas de la costa ecuatoriana existe carencia de abastecimiento de energía eléctrica, por tal razón que este proyecto se centralizara en un sector específico como lo es en la Parroquia de Cojimies perteneciente a la Provincia de Manabí.

En esta zona en general se producen cortes eléctricos y caídas de tensión constantemente, lo que produce desperfectos en los sistemas eléctricos conectados a la fuente eléctrica.

Es por esta razón que se requiere un sistema que provea energía constante y sin variación, para no afectar a los aparatos a este conectados.

JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La obtención de energías alternativas hoy en día es de mucha importancia ya que favorecen en ciertas zonas los recursos naturales que se tienen a su disposición.

Una de estas es por medio del sistema eólico, el cual se lo puede obtener mediante el diseño y fabricación de torres de almacenamiento de energía con generación de movimiento por medio de aspas y con un sistema giratorio de 360 grados para la ubicación de acuerdo a las corrientes de viento que se tenga en la zona.

La fabricación e implementación de este Sistema Eólico se da tomando en cuenta las necesidades energéticas que tiene el hotel “La Playa Lodge” y por la continua falla y daño del alumbrado dentro del Hotel.

La Playa Lodge es un hotel que tiene como visión, que su funcionamiento use recursos renovables, no contaminantes y ecológicos, para no causar un impacto negativo al medio ambiente, además de aprovechar las corrientes de viento que existen en la zona.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema eólico para la generación y acumulación de energía eléctrica.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ❖ Dimensionar el potencial energético (Eólico).
- ❖ Diseñar el sistema de transmisión de potencia.
- ❖ Elaborar los planos de los elementos que conforman el sistema eólico.
- ❖ Construir el sistema eólico.

ALCANCE

Con la generación de energía eléctrica por medio de un Sistema Eólico se piensa generar una potencia máxima de 660 watts, para la iluminación con focos ahorradores de las suites y los exteriores del hotel la Playa Lodge.

Se realizará en su totalidad un diseño óptimo que permita una construcción de fácil operación y montaje para las personas que estén beneficiadas con este proyecto.

HIPÓTESIS

HIPÓTESIS GENERAL

- ❖ El diseño y construcción de un sistema eólico, potenciará el desarrollo energético de la zona, garantizando un ahorro económico de las personas que están beneficiados con este proyecto.

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- ❖ La investigación climatológica de la zona, ayudará con datos necesarios como son: un registro de las velocidades del viento de la zona con un mínimo de 20 años, los cuales serán orientados a optimizar el diseño del sistema eólico.
- ❖ El diseño del sistema eólico, se decide a partir de la demanda energética que tienen los beneficiados con este proyecto dentro de sus instalaciones.
- ❖ La puesta en marcha del proyecto se lo realizará bajo parámetros de protocolos de pruebas para comprobar el correcto funcionamiento.

RESUMEN

Capítulo I

Hace una referencia histórica de la energía eólica, tomando definiciones, como se produce la energía del viento, además clasificando los diferentes tipos de aerogeneradores existentes en el mundo y las partes que los componen.

Capítulo II

Inicia con el estudio del análisis de alternativas, en donde intervienen los datos climatológicos de la zona como son: velocidades medias y máximas del viento, dirección y densidad del aire a nivel del mar. Además se realiza cuadros comparativos de los aerogeneradores existentes y el tipo de torre, tomando en cuenta las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, para posteriormente seleccionar el sistema eólico óptimo a diseñar.

Capítulo III

Se realiza el diseño mecánico del aerogenerador considerando el análisis estructural de la torre mediante una simulación de esfuerzos y deformación de los elementos estructurales con la ayuda del programa SAP 2000, además se efectúa el cálculo de los pernos que estarán sometidos a tensión y a corte en la estructura, el dimensionamiento del eje motriz, la transmisión de potencia, los momentos de inercia de cada elemento mecánico que compone la generación de energía eléctrica, la selección del tipo de generador, el tipo de orientación de las aspas a la dirección del viento, los acumuladores de plomo para el abastecimiento de energía eléctrica dentro de las instalaciones del hotel, y el tipo de focos a utilizar.

Capítulo IV

Se indica los diferentes procesos y pasos a seguir para la fabricación del sistema eólico, detallando en cada uno de los elementos mecánicos el tipo de máquina y herramientas a utilizar, como también las fotografías de los acabados y ensambles totales del sistema a construir.

Capítulo V

Se presenta un análisis de costos con el objetivo de tener una concepción de la inversión del sistema eólico, tomando en cuenta los costos directos e indirectos que intervienen en el proyecto.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I.....	1
1 MARCO TEÓRICO	1
1.1 HISTORIA DE LA ENERGÍA EÓLICA.....	1
1.2 DEFINICIÓN DE ENERGÍA EÓLICA.....	1
1.3 DEFINICIÓN DE ENERGÍA VERDE	1
1.4 COMO SE PRODUCE LA ENERGÍA DEL VIENTO	2
1.5 OBTENCIÓN DE LA POTENCIA GENERADA DEL VIENTO	4
1.6 MAPAS EÓLICOS	5
1.7 UNIDADES DE MEDIDA	7
1.8 TAMAÑO RELATIVO.....	7
1.9 DEFINICIÓN DE AEROGENERADOR	8
1.10 TIPOS DE AEROGENERADORES	9
1.10.1 POR EL TIPO DE EJE.....	9
1.10.1.1 AEROGENERADORES DE EJE HORIZONTAL	9
1.10.1.1.1 PARTES DE UN AEROGENERADOR DE EJE HORIZONTAL	11
1.10.1.2 AEROGENERADORES DE EJE VERTICAL	12
1.10.1.3 POR LA POSICIÓN DEL EQUIPO CON RESPECTO AL VIENTO	14
CAPITULO II.....	15
2 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	15
2.1 VENTAJAS DE LA ENERGÍA EÓLICA	15
2.2 ZONA DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EÓLICO	16

2.3 DATOS DE INTERÉS	17
2.4 ESTUDIO DE LAS VELOCIDADES DEL VIENTO DE LA ZONA.....	18
2.5 TIPOS DE AEROGENERADORES DE EJE HORIZONTAL.....	19
2.5.1.1 Alternativa 1: De una pala.....	19
2.5.1.2 Alternativa 2: De dos palas.....	20
2.5.1.3 Alternativa 3: De tres palas	21
2.5.1.4 Alternativa 4: Multipalas	22
2.5.2 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA	23
2.5.2.1 VELOCIDAD DE GIRO.....	23
2.5.2.2 PARTES Y PIEZAS.....	23
2.5.2.3 MONTAJE	23
2.5.2.4 MANTENIMIENTO	23
2.5.2.5 COSTO	24
2.6 TORRE DE SOPORTE DEL AEROGENERADOR.....	25
2.7 TIPOS DE TORRES EÓLICAS	25
2.7.1.1 Alternativa 1: Torre de mástil tensado	25
2.7.1.2 Alternativa 2: Torre de celosía	27
2.7.1.3 Alternativa 3: Torre tubular	28
2.7.2 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA	29
2.7.2.1 FABRICACIÓN	29
2.7.2.2 PARTES Y PIEZAS.....	29
2.7.2.3 FÁCIL MANTENIMIENTO.....	29
2.7.2.4 COSTO	29
2.7.2.5 SEGURIDAD	30

CAPITULO 3	31
3 DISEÑO	31
3.1 ARMADURAS.....	31
3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	31
3.3 ANÁLISIS DE CARGAS	32
3.3.1 PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA	32
3.3.2 CARGA DE VIENTO EN LA ESTRUCTURA.....	32
3.3.3 FUERZA DEL VIENTO.....	33
3.3.4 ESTADOS DE CARGA PARA EL DISEÑO.....	34
3.4 MATERIALES.....	34
3.4.1 ACERO ESTRUCTURAL.....	34
3.4.2 ESPESOR MÍNIMO DE LOS MATERIALES	35
3.4.3 ESBELTECES MÁXIMAS	35
3.5 PROCESO DE CÁLCULO	36
3.6 DIMENSIONAMIENTO (DISEÑO DE ELEMENTOS).....	36
3.6.1 BARRAS	36
3.6.2 UNIONES.....	37
3.6.3 DETALLES DE FABRICACIÓN.....	37
3.6.4 ESPECIFICACIONES PARA EL MONTAJE.....	37
3.7 CONFIGURACIÓN DE LA ESTRUCTURA EN LA SIMULACIÓN	38
3.7.1 CARGA VIVA	39
3.7.2 CARGA DE VIENTO.....	40
3.7.3 ESFUERZO AXIAL	42
3.7.4 DISEÑO DE RADIOS	43

3.7.5 REACCIONES EN LA BASE	45
3.8 DATOS DE ENTRADA AL PROGRAMA SAP2000	46
3.8.1 ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL.....	46
3.8.2 PARÁMETROS Y COMBINACIONES DE CARGA.....	46
3.8.3 PARÁMETRO DE SECCIÓN	48
3.8.4 REACCIONES EN LA BASE	48
3.8.5 REACCIONES EN LOS NODOS	49
3.8.6 DESPLAZAMIENTO EN EL NODO MÁS AFECTADO EN LA PUNTA	50
3.8.7 SUMARIO DE CONFORMIDAD DE DISEÑO.....	51
3.9 PERNOS.....	54
3.9.1 SELECCIÓN DE PERNOS PARA SOPORTAR CARGA A TENSIÓN	54
3.9.2 SELECCIÓN DE PERNOS PARA SOPORTAR CARGA A CORTE.....	58
3.9.3 SELECCIÓN DE PERNOS	59
3.9.4 SELECCIÓN DE PERNOS CARGAS A TENSIÓN	60
3.9.5 SELECCIÓN DE PERNOS PARA SOPORTAR CARGA A CORTE.....	63
3.10 CÁLCULO DE LA POTENCIA EÓLICA DISPONIBLE.....	65
3.11 DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN.....	66
3.11.1 EJE MOTRIZ	66
3.11.2 TRANSMISIÓN DE POTENCIA.....	68
3.11.3 REACCIONES SOBRE EL EJE MOTRIZ EN EL PLANO X-Y	71
3.11.4 DIAGRAMA DE MOMENTO CORTANTE Y FLECTOR	73
3.11.5 DISEÑO DEL EJE MOTRIZ POR FLEXIÓN Y TORSIÓN.....	74
3.10.6 DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO DEL EJE MOTRIZ	75
3.12 TRANSMISIÓN DE POTENCIA POR ENGRANAJES RECTOS.....	77

3.12.1 DATOS DE ENGRANES A UTILIZAR.....	79
3.12.1.1 RUEDA MOTRIZ Y RUEDA CONDUCTIDA	79
3.12.2 CÁLCULO DE RELACIÓN DE TRANSMISIÓN POR ENGRANAJES RECTOS	81
3.13 DISEÑO DE ENGRANAJES POR DESGASTE SUPERFICIAL.....	82
3.13.1 TEORÍA DE HERTZ	83
3.13.2 CÁLCULO DEL ESFUERZO DE COMPRESIÓN EN LOS ENGRANAJES	86
3.14 MOMENTOS DE INERCIA DE LOS ELEMENTOS	89
3.14.1 INERCIA DE UN CILINDRO MACIZO.....	89
3.14.2 INERCIA DE UN CILINDRO HUECO.....	89
3.14.3 MASA.....	90
3.14.4 VOLUMEN DE UN CILINDRO SOLIDO	90
3.14.5 VOLUMEN DEL CILINDRO HUECO.....	90
3.14.6 VOLUMEN DE UNA PLACA	91
3.14.7 INERCIA DE UNA PLACA.....	92
3.14.8 DETERMINACION DE ACELERACIÓN ANGULAR.....	92
3.14.9 TORQUE.....	93
3.14.10 POTENCIA	93
3.14.11 DETERMINACION DE LA INERCIA DEL EJE MOTRIZ	94
3.14.12 DETERMINACIÓN DE INERCIA DEL PIÑÓN DE 132 DIENTES	95
3.14.13 DETERMINACIÓN DE INERCIA DEL PIÑÓN DE 13 DIENTES	97
3.14.14 DETERMINACIÓN DE INERCIA DEL PORTA ASPAS	98
3.14.15 DETERMINACIÓN DE INERCIA DE LAS ASPAS.....	100
3.14.16 DETERMINACIÓN DE INERCIA DEL EJE DEL ALTERNADOR	101
3.12.17 DETERMINACIÓN DE INERCIA DE LOS RODAMIENTOS	102

3.14.18 CÁLCULO DE POTENCIA (TRANSMISIÓN PRINCIPAL)	104
3.15 RODAMIENTOS	106
3.15.1 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS.....	106
3.15.2 RELACIÓN DE CARGA Y DURACIÓN.....	106
3.15.3 DURACIÓN DE DISEÑO	106
3.15.4 SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS DEL EJE MOTRIZ.....	107
3.16 CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE NECESARIA	109
3.16.1 CONEXIÓN DE LOS ACUMULADORES O BATERIAS.....	111
3.17 EMPLAZAMIENTO DE LA TORRE	112
3.18 MEDIDAS DE SEGURIDAD	112
3.18.1 BATERIAS.....	112
3.18.2 TORRE	113
3.18.3 ELECTRICIDAD	113
3.18.4 MANTENIMIENTO	113
3.19 GENERADOR	115
3.19.1 DEFINICIÓN DE ALTERNADOR.....	115
3.19.2 CARACTERISTICAS GENERALES DEL ALTERNADOR A UTILIZAR	117
3.20 ANTEDETES DE LOS MECANISMOS DE ORIENTACIÓN EN UN AEROGENERADOR DE EJE HORIZONTAL	118
3.21 DISPOSITIVO PARA EL ALMACENAMIENTO DE LA ENERGÍA PRODUCIDA	119
3.22 DISPOSITIVO PARA VIGILAR EL ESTADO DE LAS BATERIAS DE ACUMULADORES.....	121
3.23 FOCOS DE BAJO VOLTAJE (12V).....	121
3.23.1 CARACTERISTICAS.....	122
3.23.2 APLICACIONES	122

3.23.3 BENEFICIOS DEL PRODUCTO.....	122
CAPITULO 4	123
4 PROCESO DE FABRICACIÓN.....	123
4.1 ELABORACIÓN DE PLANOS.....	123
4.2 TORRE DE CELOSÍAS.....	123
4.2.1 MATERIALES	123
4.2.2 CONSTRUCCIÓN	124
4.2.3 FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN	124
4.3 SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA	130
4.3.1 SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.....	130
4.3.2 EJE PRINCIPAL	130
4.3.3 CARCASA DE SUJECIÓN DE EJE	134
4.3.4 TRANSMISIÓN DE POTENCIA POR ENGRANAJES	136
4.3.5 PORTA ASPAS.....	137
4.3.6 ASPAS.....	139
4.3.7 SOPORTE DEL GENERADOR.....	146
4.3.8 PORTA CARBONES.....	147
4.3.9 CUBIERTA METÁLICA PARA PROTEGER EL SISTEMA	155
4.3.10 VELETA DE ORIENTACIÓN DEL VIENTO	156
4.4 INSTALACIÓN EN EL HOTEL LA PLAYA LODGE.....	158
4.4.1 INSTALACION DE LA TORRE.....	158

CAPITULO 5	169
5 ANÁLISIS DE COSTOS	169
5.1 COSTOS DIRECTOS	169
5.1.1 COSTOS DE MATERIALES E INSUMOS UTILIZADOS	169
5.1.2 COSTOS DE MANO DE OBRA DIRECTA	171
5.2 COSTOS INDIRECTOS	172
5.2.1 COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACION (INSTALACION)	172
5.3 COSTOS DE MANO DE OBRA INDIRECTA	173
5.4 RESUMEN DE COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS.....	174
5.5 COSTO DE DISEÑO Y ELABORACIÓN DE PLANOS.....	174
5.6 COSTO TOTAL DEL SISTEMA	175
CONCLUSIONES.....	176
RECOMENDACIONES	177
BIBLIOGRAFÍA	178
PÁGINAS DE INTERNET	179

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Valores del coeficiente C_p	5
Figura 1.2.- Mapa Eólico.....	6
Figura 1.3.- Tamaños de los diferentes aerogeneradores.	8
Figura 1.4 Tipos de aerogeneradores de eje horizontal.....	10
Figura 1.5.- Aerogenerador de eje vertical Darrieus.	12
Figura 1.6.- Aerogenerador de eje vertical Panemonas.....	13
Figura 1.7.- Aerogenerador de eje vertical Sabonius.	13
Figura 2.1.- Aerogenerador de una pala.	19
Figura 2.2.- Aerogenerador de dos palas.....	20
Figura 2.3.- Aerogenerador de tres palas.....	21
Figura 2.4.- Aerogenerador Multipalas.	22
Figura 2.5 Torre de mástil tensado.	26
Figura 2.6 Torre de celosía.....	27
Figura 2.7 Torre tubular.....	28
Figura 3.1 Estructura articuladas.....	31
Figura 3.2 Configuración de los elementos estructurales.....	38
Figura 3.3 Cargas Vivas.	39
Figura 3.4 Carga de viento.	40
Figura 3.5 Incremento de la velocidad del viento.	41
Figura 3.6 Esfuerzos a Tensión y Compresión.....	42
Figura 3.7 Diseño de radios 3D.....	43
Figura 3.8 Diseño de radios 2D.....	44

Figura 3.9 Reacciones de la estructura.	45
Figura 3.10 Desplazamiento en la punta de la torre.	50
Figura 3.11 Junta Atornillada.	55
Figura 3.12 Perno sometido a corte doble.	58
Figura 3.13 Diagrama de cuerpo libre de la base de sujeción de la torre.	59
Figura 3.14 Diagrama de fuerzas y reacciones en el eje motriz.	71
Figura 3.15 Diagrama de momento cortante y flector.	73
Figura 3.16 Engranajes rectos.	78
Figura 3.17 Contacto entre dos cilindros con ejes paralelos.	82
Figura 3.18 Fuerza tangencial en engranajes rectos.	83
Figura 3.19 Eje Motriz.	94
Figura 3.20 Piñón de 132 dientes.	95
Figura 3.21 Piñón de 13 dientes.	97
Figura 3.22 Porta aspas.	98
Figura 3.23 Aspa.	100
Figura 3.24 Alternador.	101
Figura 3.25 Rodamiento de rodillos.	102
Figura 3.26 Diagrama de fuerzas en el rodamiento.	108
Figura 3.27 Conexión en Paralelo.	111
Figura 3.28 Disposición de elementos en un alternador.	116
Figura 3.29 Orientación del rotor mediante timón de cola.	119
Figura 3.30 Baterías de ciclo profundo.	120
Figura 4.1 Perforación de los ángulos y platinas con una broca de 9/16”	124
Figura 4.2 Perforaciones para el cuadro de montaje del sistema porta aspas.	125

Figura 4.3 Cuadro de montaje soldado mediante un proceso MIG.....	126
Figura 4.4 Traslape y sujeción de ángulos.	126
Figura 4.5 Sujeción de ángulo con platina mediante pernos.....	127
Figura 4.6 Ensamble de una cara de la torre.....	127
Figura 4.7 Ensamble del tramo porta aspas.....	128
Figura 4.8 Ensamble total de la torre.....	129
Figura 4.9 Perforación Broca de centros.	131
Figura 4.10 Cilindrado.....	132
Figura 4.11 Perforación y roscado.....	133
Figura 4.12 Sujeción del eje perforado.....	134
Figura 4.13 Cilindrado y roscado interno.	135
Figura 4.14 Transmisión de engranajes, rodamientos y retenedores.....	136
Figura 4.15 Mecanizado de porta aspas.	137
Figura 4.16 Porta aspas.....	138
Figura 4.17 Ensamble del porta aspas.	139
Figura 4.18 Trazado de las aspas.....	140
Figura 4.19 Aspas cortadas.....	141
Figura 4.20 Perforaciones en las aspas.	142
Figura 4.21 Barolado de las aspas.	143
Figura 4.22 Montaje de las aspas.	145
Figura 4.23 Soporte del generador.	146
Figura 4.24 Eje porta carbones.....	147
Figura 4.25 Perforación para cables de corriente.	148
Figura 4.26 Fresado.	149

Figura 4.27 Cilindrado.....	150
Figura 4.28 Discos de bronce y duralon.	151
Figura 4.29 Tuerca.....	152
Figura 4.30 Placa de sujeción a la torre.....	153
Figura 4.31 Soldadura de porta carbones con porta aspas.....	154
Figura 4.32 Cubierta de protección.	155
Figura 4.33 Velea de orientación.	156
Figura 4.34 Tubo cuadrado sujeto a la veleta.	157
Figura 4.35 Armado de la torre en el hotel.....	159
Figura 4.36 Nivelación del terreno.	160
Figura 4.37 Emplazamiento de la torre.	162
Figura 4.38 Instalación de todo el sistema en la torre.	167
Figura 4.39 Panel de control.....	168

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.- Escala Beaufort de velocidades del viento a 10m de altura.	3
Tabla 2.1 Datos de la zona.....	17
Tabla 2.2 Datos Meteorológicos.....	18
Tabla 2.3 Parámetros y alternativa (Aerogenerador).....	24
Tabla 2.4 Parámetros y alternativa (Torre).....	30
Tabla 3.1 Esbelteces máximas.....	35
Tabla 3.2 Datos de entrada.	46
Tabla 3.3 Parámetros de carga.....	47
Tabla 3.4 Parámetro de sección.....	48
Tabla 3.5 Reacciones en la base.	48
Tabla 3.6 Reacciones en los nodos críticos.	49
Tabla 3.7 Desplazamientos debido a las cargas.	50
Tabla 3.8 Sumario de conformidad de diseño.	54
Tabla 3.9 Especificaciones para el acero usado en los pernos de la serie en pulgadas.	57
Tabla 3.10 Propiedades de Acero SAE 1018	650
Tabla 3.11 Inercia total de la transmisión de potencia.	104
Tabla 3.12 Duración recomendada para rodamientos.	107
Tabla 3.13 Tareas más usuales existentes en mantenimiento preventivo.....	114
Tabla 3.14 Ocurrencias de fallo durante la operación de los aerogeneradores.	115
Tabla 5.1 Costos de materiales utilizados.	170
Tabla 5.2 Costos de mano de obra directa.....	171
Tabla 5.3 Costos indirectos de fabricación (Instalaciones eléctricas).....	173

Tabla 5.4 Costos de mano de obra indirecta.....	173
Tabla 5.5 Resumen de costos directos e indirectos.	174
Tabla 5.6 Costos de diseño y elaboración de planos.	175
Tabla 5.7 Costo total del sistema.....	175

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Armadura: Se denomina armaduras o estructuras reticulares, a las estructuras formadas por barras, las cuales son elementos cuya sección transversal es pequeña en comparación con su longitud.

ASCE: American National Standards Institute. Norma ASCE 10-97, diseño de estructuras reticuladas.

Barlovento: Cuando el viento sopla desde el Este.

Carga: Acción estacionaria de una fuerza o un momento que actúan sobre cierto objeto; efecto de una aceleración, incluyendo la gravedad, una deformación impuesta o un cambio de volumen.

Carga de Prueba: Es una fuerza determinada a la que se somete un tornillo sin que esté presente deformación o alargamiento permanente.

Carga muerta: Carga aplicada sobre una estructura que incluye el peso propio de la estructura más la de los elementos permanentes.

Ciclos: Se define como ciclo el proceso de descarga y carga de una batería. Especificados como DOD.

Deformación: Cambio en la geometría de la estructura provocado por las solicitaciones, incluyendo el desplazamiento axial, desplazamiento por corte y rotaciones.

Elemento: Parte de un componente o miembro compuesto por un solo material.

Fusible: Protección contra sobrecarga de corriente eléctrica.

INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

Isotrópico: Es cuando el material del cual está constituido un elemento estructural presenta propiedades invariables.

LED: Light Emitting Diode, en español diodos de emisión de luz.

LRFD: Diseño por factor de resistencia y cargas.

MIG: (Metal Inerte Gas). Es un proceso de soldadura, donde la fusión se produce por calentamiento con un arco entre un electrodo de metal de aporte continuo y la pieza, donde la protección del arco se obtiene de un gas suministrado en forma externa, el cual protege de la contaminación atmosférica y ayuda a estabilizar el arco eléctrico.

Momento de inercia: El momento de inercia refleja la distribución de masa de un cuerpo o de un sistema de partículas en rotación, respecto a un eje de giro. El momento de inercia sólo depende de la geometría del cuerpo y de la posición del eje de giro; pero no depende de las fuerzas que intervienen en el movimiento

Palas: Aspas o hélices que generan movimiento al rotor del generador.

Prisma: Es un modelo de sólido deformable.

Resistencia a la tensión: Es un valor establecido de fuerza y/o tensión que debe soportar un tornillo antes de fracturarse en el ensayo de tracción.

Resistencia de fluencia: Describe el esfuerzo máximo que se puede generar en un material a temperatura constante bajo el cual la velocidad de fluencia disminuye con el tiempo.

Sotavento: Cuando el viento sopla desde el Oeste.

Veleta: Es un dispositivo giratorio que consta de una placa plana vertical que gira libremente, un señalador que indica la dirección del viento y una cruz horizontal que indica los puntos cardinales. Se ubica generalmente en lugares elevados y su diseño puede ser muy variado.

SIMBOLOGÍA

P_T	Potencial Eólico
C_p	Coefficiente del rendimiento de potencia
λ	Relación de velocidades
A	Superficie del viento que interceptan las palas del aerogenerador
ρ	Densidad del aire a nivel del mar
V_o	Velocidad del viento
F_{viento}	Fuerza del viento
U	Desplazamiento
D	Cargas muertas
W	Cargas de viento
L	Cargas vivas
F_i	Precarga
F_p	Carga de prueba
C	Constante de rigidez
n	Factor de seguridad
P	Carga extrema
K_b	Constante de rigidez del perno
K_m	Módulo de rigidez de los miembros de la junta atornillada

D	Diámetro del perno
E	Módulo de elasticidad del material
l	Longitud de agarre de la junta atornillada
A_t	Área de esfuerzos a la tensión
S_p	Resistencia a prueba
F_{perno}	Fuerza que soporta cada perno
S_{sy}	Resistencia de fluencia al corte
τ	Esfuerzo cortante
P	Potencia que se quiere generar
T	Par motor
W	Velocidad angular
r	Radio del porta aspas
M_{max}	Momento máximo
P	Peso total del porta aspas
τ	Esfuerzo a torsión
r	Radio
T	Torque
J	Momento polar de inercia

σ	Esfuerzo por flexión
C	Distancia del eje neutro al extremo
I	Momento de inercia
$[\sigma]$	Esfuerzo permisible
S_y	Esfuerzo de fluencia
F_s	Factor de seguridad
D_p	Diámetro primitivo
M	Módulo
N	Número de dientes
P	Paso entre dientes
D_e	Diámetro exterior
i	Relación de transmisión
Z_1	Números de dientes de la rueda motriz
Z_2	Número de dientes de la rueda conducida

σ_c	Esfuerzo de compresión
S_c	Resistencia al desgaste superficial
W_t	Fuerza tangencial
L	Ancho de la cara de la rueda dentada
\emptyset	Ángulo de presión (20 grados)
r_1	Radio del piñón
r_2	Radio de la rueda
C_v	Factor de velocidad
m	Masa
d	Diámetro de cilindro macizo
d_{ext}	Diámetro exterior del cilindro hueco
d_{int}	Diámetro interior del cilindro hueco
V	Volumen del cuerpo
a	Base menor
b	Base mayor

l	Longitud de la placa
e	Espesor
W_0	Velocidad inicial
α	Aceleración angular
t	Tiempo
C	Capacidad de carga
Pd	Carga dada de diseño
h	Duración para rodamientos recomendada
rpm	Velocidad de giro en rpm
I_T	Intensidad de corriente total

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 HISTORIA DE LA ENERGÍA EÓLICA

El viento es una de las fuentes de energía. Ya desde algunos milenios, los convertidores de energía eólica eran conocidos en Persia y en la China.

Durante muchísimos años los barcos de vela constituyeron una importante utilización de la energía eólica. En el siglo pasado, los convertidores de energía eólica se utilizaban especialmente para accionar molinos, para moler granos y bombear agua.

La ventaja más importante para el abastecimiento público de energía está representada por el ahorro en costos de combustibles, que dependen principalmente de los vientos y de la disponibilidad técnica.

El aprovechamiento de la energía eólica puede ser sumamente beneficioso para la economía del país, ya que, la economía dependerá menos de la extracción de petróleo hasta que sea este un recurso que se agote. Podrán conservarse los recursos nacionales, por ejemplo los bosques.

La explotación de energía eólica no ocasiona la contaminación atmosférica o la contaminación de las aguas¹.

1.2 DEFINICIÓN DE ENERGÍA EÓLICA

“Energía eólica es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas”².

1.3 DEFINICIÓN DE ENERGÍA VERDE

¹ <http://www.aerogeneradores.com>

² <http://www.aeeolica.org/>

Se denomina energía verde o energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

1.4 COMO SE PRODUCE LA ENERGÍA DEL VIENTO³

La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión.

Los vientos son generados a causa del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre por parte de la radiación solar, entre el 1 y 2% de la energía proveniente del sol se convierte en viento. De día, las masas de aire sobre los océanos, los mares y los lagos se mantienen frías con relación a las áreas vecinas situadas sobre las masas continentales.

Los continentes absorben una menor cantidad de luz solar, por lo tanto el aire que se encuentra sobre la tierra se expande, y se hace por lo tanto más liviana y se eleva. El aire más frío y más pesado que proviene de los mares, océanos y grandes lagos se pone en movimiento para ocupar el lugar dejado por el aire caliente.

En la tabla 1.1 se puede observar los efectos que pueden ocasionar la velocidad del viento sobre la tierra, el mar y sobre un aerogenerador.

³ M.CASTRO GIL, Monografías Técnicas de energías renovables, Tercera edición 2011, España, Pág. 7.

Grados Beaufort	Velocidad del viento*		Descripción	Efectos sobre un aerogenerador	Efectos en tierra	Efectos en el mar
	m/s	km/h				
0	0/0,4	0/2	Calma	Ninguno	Humo vertical	Mar en calma
1	0,4/2	2/6	Ventolina	Ninguno	El humo se inclina pero no se mueven las veletas	Pequeños rizos en las olas
2	2/4	6/13	Flojito	Ninguno	Se mueven las hojas y se nota el aire en la piel. No se mueven las veletas	Olas sin romper
3	4/6	13/21	Flojo	Arranque de máquinas ligeras	Se mueven las hojas continuamente y se extienden las banderas	Rompen algunas olas y el mar se torna cristalino
4	6/8	21/31	Moderado	Arranque de máquinas de potencia elevada	El polvo se mueve y se agitan las ramas pequeñas	Se alargan las olas y se ven crestas blancas
5	8/11	31/40	Fresco	Un tercio de la producción	Los árboles pequeños se balancean. Se comenta que hace viento	Crestas blancas en todas las olas
6	11/14	40/51	Duro	Rango alto de producción	Se mueven las ramas grandes y silban los cables eléctricos	Aparecen grandes olas con espuma en las crestas
7	14/17	51/63	Muy duro	Producción máxima	Se agitan todos los árboles. Es molesto caminar cara al viento	Mar gruesa
8	17/21	63/76	Galerna	Parada de máquinas	Se rompen las ramas pequeñas. Difícil caminar	Olas altas de longitud mayor. Se pulverizan las crestas
9	21/25	76/88	Temporal	Máquinas paradas	Las ramas medianas se quiebran. Pequeños daños estructurales (chimeneas, etc.)	Se rompen las olas altas. La bruma reduce la visibilidad
10	25/29	88/103	Galerna fuerte	Diseño específico contra daños	Árboles arrancados de cuajo y daños estructurales serios (techos, etc.)	Rompen las olas muy grandes con mucha bruma
11	29/33	103/117	Borrasca	Sólo sobreviven las máquinas más resistentes	Daños extensos	Muy baja visibilidad por la bruma
12	33/37	117/134	Huracán	Daño seguro si no se abate	Condiciones de desastre (ciclones tropicales)	Los barcos se ocultan en las olas. Superficie del agua toda blanca
13	37/42	134/150				
14	42/46	150/167				
15	46/51	167/185				
16	51/57	185/204				
17	57/62	204/222	Ciclón			

Tabla 1.1.- Escala Beaufort de velocidades del viento a 10m de altura.

Fuente: M.CASTRO GIL⁴

⁴ M.CASTRO GIL, Monografías Técnicas de energías renovables, Tercera edición 2011, España, Pág. 9.

1.5 OBTENCIÓN DE LA POTENCIA GENERADA DEL VIENTO⁵

Para poder aprovechar la energía eólica es importante conocer las variaciones diurnas, nocturnas y estacionales de los vientos, la variación de la velocidad del viento con la altura sobre el suelo, la entidad de las ráfagas en espacios de tiempo breves, y valores máximos ocurridos en series históricas de datos con una duración mínima de 20 años.

Como primera aproximación, se puede expresar la potencia generada por un aerogenerador a través de la siguiente ecuación:

$$P_T = C_p A \rho V o^3 / 2 \quad \text{Ec.1.1}$$

Donde:

C_p = es un coeficiente del rendimiento de potencia, que muestra la fracción de potencia mecánica obtenible respecto a la energía eólica existente en el viento, siendo su máximo teórico aproximadamente del 59% (calculable según el criterio de Betz de la figura 1.1, que representa la imposibilidad de capturar todo el viento por la superficie de incidencia).

λ = Relación de velocidades. Representando la velocidad máxima en la punta de la pala respecto a la del viento.

ρ = es la densidad del aire en función de la altura sobre el nivel del mar, donde su valor estándar es de 1,225 kg/m³.

A = es la superficie del viento que interceptan las palas del aerogenerador.

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Ec.1.2

⁵ M.CASTRO GIL, Monografías Técnicas de energías renovables, Tercera edición 2011, España, Pág. 5

V_0 = es la velocidad del viento.

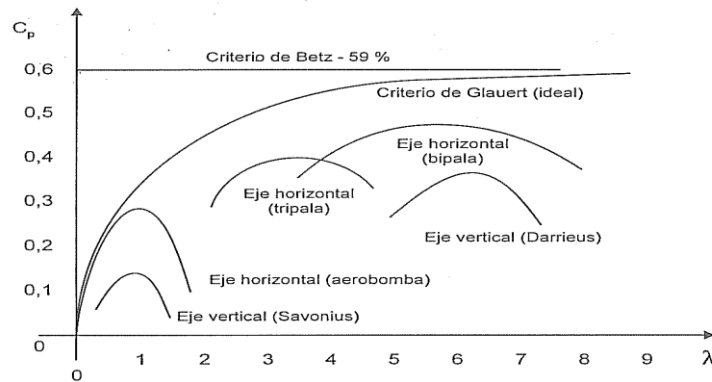


Figura 1.1.- Valores del coeficiente C_p .

Fuente: M.CASTRO GIL⁶

1.6 MAPAS EÓLICOS⁷

La figura 1.2 muestra de forma global los vientos predominantes a escala mundial, de forma que se pueden apreciar visualmente las zonas de mejores características para la aplicación y uso del viento en el aprovechamiento energético. Las zonas sombreadas son aquellas en que la velocidad del viento supera los 5m/s.

Una posible clasificación de las zonas de elevado potencial eólico, en la cual se han agrupado las horas anuales medias donde la velocidad del viento es superior a 5m/s, es la siguiente:

- ❖ Zona con potencial de tipo A (muy alto): más de 5250 horas anuales.
- ❖ Zona con potencial de tipo B (alto): entre 4380 y 5250 horas anuales.
- ❖ Zona con potencial de tipo A (medio): entre 3500 y 4380 horas anuales.
- ❖ Zona con potencial de tipo A (medio – bajo): entre 2600 y 3500 horas anuales.
- ❖ Zona con potencial de tipo A (bajo): menos de 2600 horas anuales.

⁶ M.CASTRO GIL, Monografías Técnicas de energías renovables, Tercera edición 2011, España, Pág. 20

⁷ M.CASTRO GIL, Monografías Técnicas de energías renovables, Tercera edición 2011, España, Pág. 15

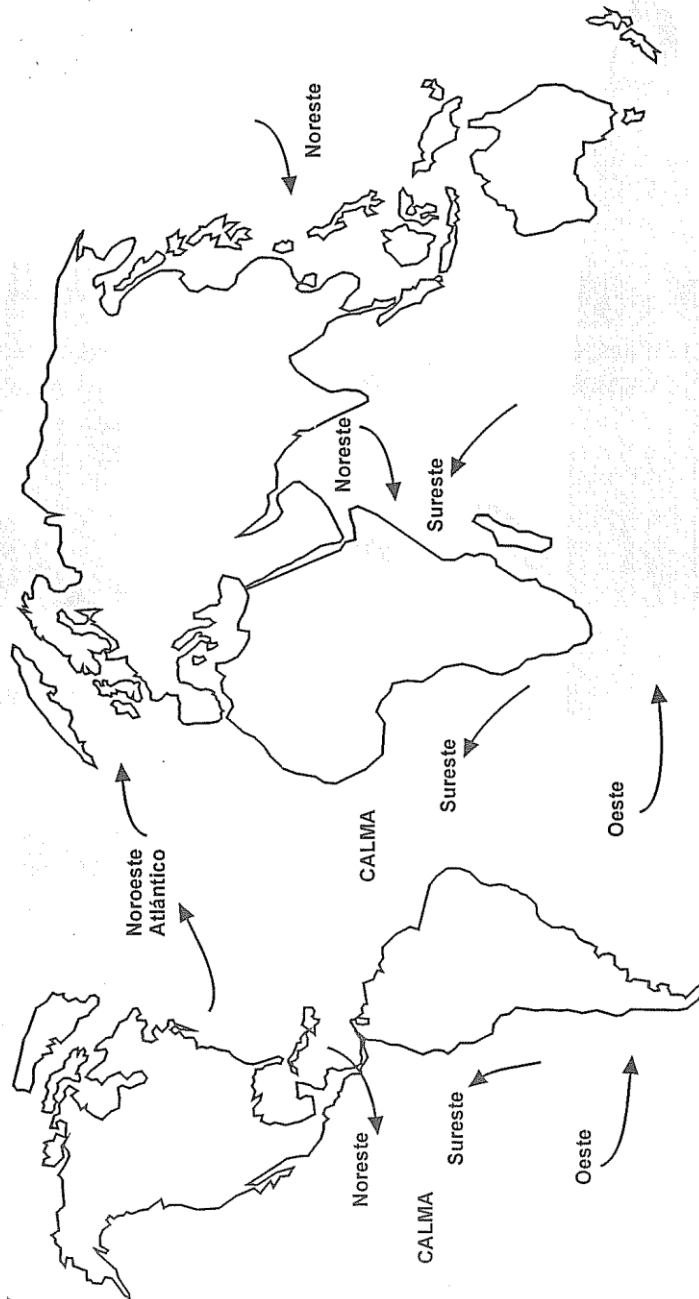


Figura 1.2.- Mapa Eólico.

Fuente: M.CASTRO GIL⁸

⁸ M.CASTRO GIL, Monografías Técnicas de energías renovables, Tercera edición 2011, España, Pág. 16

En lo que respecta al Ecuador, se puede decir que en general tiene un bajo potencial eólico, con zonas puntuales de tipo medio – bajo y medio en todo el litoral del territorio ecuatoriano.

1.7 UNIDADES DE MEDIDA⁹

En los Estados Unidos se emplea aún el sistema inglés de unidades. Los canadienses y los mismos británicos están efectuando la transición al “métrico” (Sistema Internacional). Los europeos continentales usan el sistema “métrico” solamente.

Los fabricantes norteamericanos, que venden una buena parte de sus productos en el mercado internacional, dan el diámetro del rotor de sus turbinas tanto en pies como en metros. Así, la mayoría de las personas que trabajan con la energía eólica están acostumbradas a usar ambos sistemas, especialmente cuando se refieren al diámetro del rotor de la turbina.

1.8 TAMAÑO RELATIVO¹⁰

En la energía eólica, el tamaño es importante, especialmente el diámetro del rotor. Actualmente, el rango en tamaño de las turbinas eólicas va desde la Marlec 500 de 20W, con un rotor de solamente 0.5 metros de diámetro, hasta una gigantesca máquina Vestas de 1650KW, con un rotor de 63 metros.

La clasificación en cuanto al tamaño depende tanto del diámetro del rotor como de la capacidad del generador. En general, las pequeñas turbinas eólicas serían las máquinas que producen desde unos pocos vatios (10 – 20 KW). Las turbinas en límite superior de este rango trabajan con rotores de 7 a 9 metros de diámetro.

Las pequeñas turbinas eólicas pueden ser subdivididas en micro-turbinas las más pequeñas de las turbinas eólicas, mini-turbinas y turbinas de tamaño doméstico como se representan en la figura 1.3.

⁹ PAUL GIPE, Energía eólica práctica, Primera edición 2000, España, Pág. 30

¹⁰ PAUL GIPE, Energía eólica práctica, Primera edición 2000, España, Pág. 31

- ❖ Las micro-turbinas son aquellas que tienen entre 0,5 y 1,25 metros de diámetro.
- ❖ Las mini-turbinas son aquellas que su diámetro varía entre 1,25 y 2,75 metros.

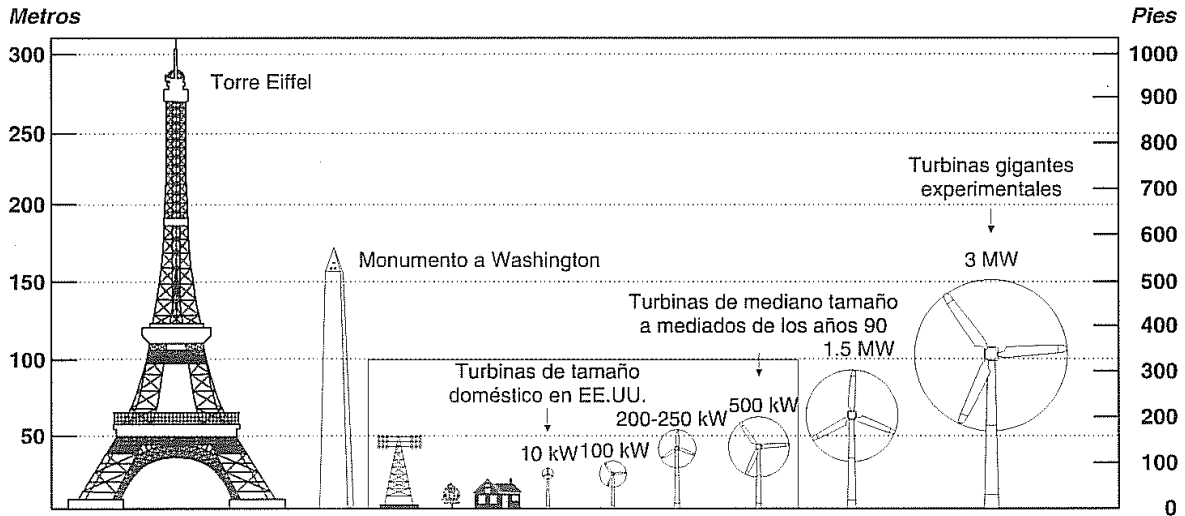


Figura 1.3.- Tamaños de los diferentes aerogeneradores.

Fuente: M.CASTRO GIL¹¹

1.9 DEFINICIÓN DE AEROGENERADOR

Un aerogenerador es un generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento (turbina eólica). Sus precedentes directos son los molinos de viento que se empleaban para la molienda y obtención de harina.

La energía cinética del aire en movimiento, proporciona energía mecánica a un rotor hélice que, a través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.

¹¹ PAUL GIPE, Energía eólica práctica, Primera edición 2000, España, Pág. 31

1.10 TIPOS DE AEROGENERADORES¹²

1.10.1 POR EL TIPO DE EJE

Estos tipos de aerogeneradores se clasifican en:

1.10.1.1 AEROGENERADORES DE EJE HORIZONTAL

Son aquellos en los que el eje de rotación del equipo se encuentra paralelo al piso. Esta es la tecnología que se ha impuesto, por su eficiencia y confiabilidad y la capacidad de adaptarse a diferentes potencias.

Los principales tipos de máquinas eólicas de eje horizontal, son:

- ❖ Máquinas que generan un movimiento alternativo, que se utilizan para el bombeo de agua.
- ❖ Máquinas multipala.
- ❖ Hélices con palas pivotantes (ángulo de ataque variable).
- ❖ Hélices con palas alabeadas, muy sofisticadas, que incluyen clapetas batientes y alerones de ángulo variable.

En la figura 1.4 se indican los tipos de aerogeneradores de eje horizontal.

¹² M.CASTRO GIL, Monografías Técnicas de energías renovables, Tercera edición 2011, España, Pág. 20

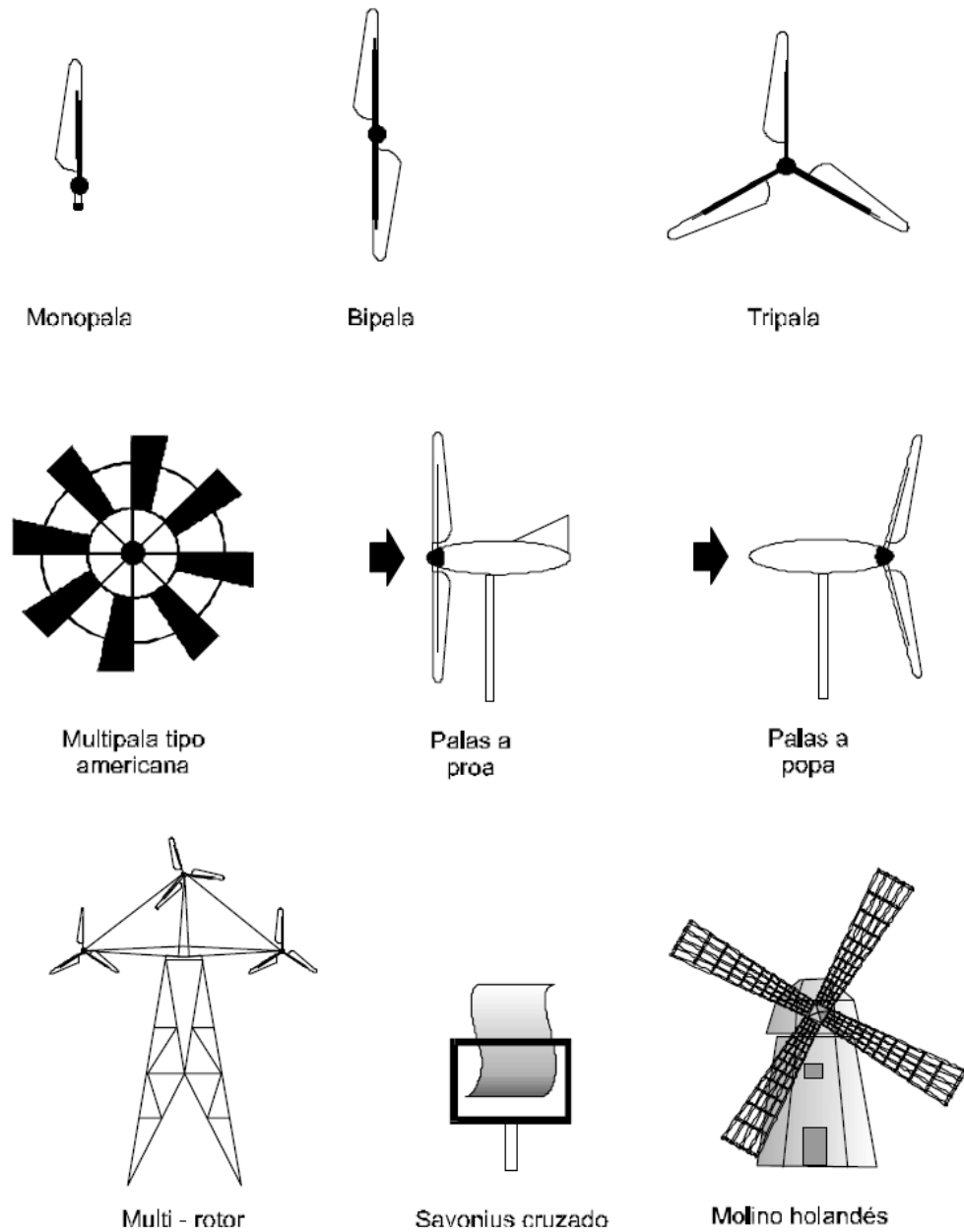


Figura 1.4 Tipos de aerogeneradores de eje horizontal.

Fuente: M.CASTRO GIL¹³

¹³ PAUL GIPE, Energía eólica práctica, Primera edición 2000, España, Pág. 46

1.10.1.1.1 PARTES DE UN AEROGENERADOR DE EJE HORIZONTAL¹⁴

Las partes principales de un aerogenerador de eje horizontal son:

Rotor.- Las palas del rotor, construidas principalmente con materiales compuestos, se diseñan para transformar la energía cinética del viento en un momento torsor en el eje del equipo. Los rotores modernos pueden llegar a tener un diámetro de 42 a 80 metros y producir potencias equivalentes de varios MW.

Caja de engranajes o multiplicadora.- Puede estar presente o no dependiendo del modelo. Transforman la baja velocidad del eje del rotor en alta velocidad de rotación en el eje del generador eléctrico.

Generador.- Existen diferentes tipos dependiendo del diseño del aerogenerador. Pueden ser síncronos o asíncronos, jaula de ardilla o doblemente alimentados, con excitación o con imanes permanentes. Lo podemos definir como parte del generador que convierte la energía en electricidad.

La torre.- Sitúa el generador a una mayor altura, donde los vientos son de mayor intensidad y para permitir el giro de las palas y transmite las cargas del equipo al suelo.

Sistema de control.- Se hace cargo del funcionamiento seguro y eficiente del equipo, controla la orientación de la góndola, la posición de las palas y la potencia total entregada por el equipo.

Todos los aerogeneradores de eje horizontal tienen su eje de rotación principal en la parte superior de la torre, que tiene que orientarse hacia el viento de alguna manera.¹⁵

¹⁴ M.CASTRO GIL, Monografías Técnicas de energías renovables, Tercera edición 2011, España, Pág. 23

¹⁵ [http:// www.energiasrenovables.com](http://www.energiasrenovables.com)

1.10.1.2 AEROGENERADORES DE EJE VERTICAL

Su característica principal es que el eje de rotación se encuentra en posición perpendicular al suelo.

Son también llamados "VAWT", que corresponde a las siglas de la denominación inglesa "Vertical Axis Wind Turbines". Existen tres tipos de estos aerogeneradores:

- ❖ **Darrieus.-** Consisten de dos o tres arcos que giran alrededor del eje. Figura 1.5.
- ❖ **Panemonas.-** Cuatro o más semicírculos unidos al eje central. Figura 1.6.
- ❖ **Sabonius.-** Dos o más filas de semicilindros colocados opuestamente. Figura 1.7.



Figura 1.5.- Aerogenerador de eje vertical Darrieus.

Fuente: www.energiasrenovables.com



Figura 1.6.- Aerogenerador de eje vertical Panemonas.

Fuente: www.energiasrenovables.com



Figura 1.7.- Aerogenerador de eje vertical Sabonius.

Fuente: www.energiasrenovables.com

1.10.1.3 POR LA POSICIÓN DEL EQUIPO CON RESPECTO AL VIENTO

A barlovento.- Las máquinas corrientes arriba tienen el rotor de cara al viento. La principal ventaja de los diseños corriente arriba es que se evita el abrigo del viento tras la torre.

A sotavento.- Las máquinas corrientes abajo tienen el rotor situado en la cara a sotavento de la torre. La ventaja teórica que tienen es que pueden ser construidos sin un mecanismo de orientación, si el rotor y la góndola tienen un diseño apropiado que hace que la góndola siga al viento pasivamente.

CAPITULO II

2 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

“El viento es una de las fuentes de energía más usadas. Aunque su uso se remonta a muchos siglos, no se ha constituido en factor dominante en la imagen energética de los países desarrollados, en los últimos 50 años, debido a la abundancia de los combustibles fósiles.

Recientemente, al caer en la cuenta de que los combustibles fósiles son un recurso limitado, se ha despertado la necesidad de desarrollar la potencia del viento, con tecnología moderna y a gran escala. Como consecuencia, desde hace unos cuantos años se ha presentado un importante resurgimiento del interés por la potencia del viento”¹⁶.

2.1 VENTAJAS DE LA ENERGÍA EÓLICA¹⁷

“La energía eólica no contamina, es inagotable y frena el agotamiento de combustibles fósiles contribuyendo a evitar el cambio climático. Las características beneficiosas de la Energía Eólica incluyen:

Energía limpia e inagotable.- La energía del viento no produce ninguna emisión y no se agota en un cierto plazo. Una sola turbina de viento de un megavatio (1 MW) que funciona durante un año puede reemplazar la emisión de más de 1.500 toneladas de dióxido de carbono, 6.5 toneladas de dióxido de sulfuro, 3.2 toneladas de óxidos del nitrógeno, y 60 libras de mercurio. Cada kwh de electricidad generada por energía eólica en lugar de carbón, evita:

- ❖ 0,60 Kg. de CO₂, dióxido de carbono.
- ❖ 1,33 gr. de SO₂, dióxido de azufre.
- ❖ 1,67 gr. de NO, óxido de nitrógeno”.

¹⁶ MANUAL DEL INGENIERO MECANICO, Novena Edición, Pág. 9-194.

¹⁷ www.energiasrenovables.com

Desarrollo económico local.- Las plantas eólicas pueden proporcionar un flujo constante de ingresos a las personas que arriendan sus campos para la explotación del viento, y un aumento en la recaudación por impuestos territoriales para las comunidades locales.

Tecnología escalable.- Las aplicaciones eólicas pueden tomar muchas formas, incluyendo grandes granjas de viento, generación distribuida, y sistemas para uso final. Las aplicaciones pueden utilizar estratégicamente los recursos del viento para ayudar a reducir los riesgos por el aumento en la carga o consumo y costos producidos por cortes.

Estabilidad del costo de la energía.- La utilización de energía eólica, a través de la diversificación de las fuentes de energía, reduce la dependencia a los combustibles convencionales que están sujetos a variaciones de precio y volatilidad en su disponibilidad.

Reducción en la dependencia de combustibles importados.- La energía eólica no está afectada a la compra de combustibles importados, manteniendo los fondos dentro del país, y disminuyendo la dependencia a los gobiernos extranjeros que proveen estos combustibles”.

2.2 ZONA DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EÓLICO¹⁸

Playa de Cojimíes, Manabí.- Está ubicada a 35 kilómetros de Pedernales, en la provincia de Manabí.

Es una extensa playa con arena de textura suave de color gris, y oleaje moderado; sus aguas muestran una coloración que va del azul al verde; es ideal para nadar, tomar baños de sol y contemplar el ocaso. Rodeada de palmeras de coco, es apta para un sinnúmero de actividades.

¹⁸ INAMHI: Instituto Nacional De Meteorología E Hidrología

2.3 DATOS DE INTERÉS

En la tabla 2.1 se puede observar los datos más importantes de la parroquia de cojimies.

<i>Región</i>	Costa
<i>Provincia</i>	Manabí
<i>Latitud</i>	0° 21' 03.28" N
<i>Longitud:</i>	80° 01' 48.49" O
<i>Clima:</i>	21° C a 32° C
<i>Población:</i>	5000 (estimación 2008)
<i>Distancia a Guayaquil</i>	435 km. Aprox.
<i>Distancia a Quito:</i>	284 km. Aprox.

Tabla 2.1 Datos de la zona.

Fuente : INAMHI¹⁹

Elaborado por: MATIAS SCHWEITZER

¹⁹ INAMHI: Instituto Nacional De Meteorología e Hidrología

2.4 ESTUDIO DE LAS VELOCIDADES DEL VIENTO DE LA ZONA

En el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI se pudo obtener registros de las velocidades del viento, y su dirección, durante todos los meses del año en la zona de Pedernales – Manabí. Tabla 2.2.

**INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA
UNIDAD ATENCION AL USUARIO**

VIENTO MAXIMO MENSUAL Y DIRECCION (m/s)

S E R I E S M E N S U A L E S D E D A T O S M E T E O R O L O G I C O S

NOMBRE: PEDERNALES-MANABI CODIGO: M168

PERIODO: 1950 - 2010 LATITUD: 0 3 30 N LONGITUD: 80 3 20 W ELEVACION: 20

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1982	8.0 SW	5.0 SW	8.0 NW	10.0 SW	10.0 SW	8.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	14.0 SW	14.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	117.0	9.7
1983	6.0 SW		8.0 SW	5.0 NW	10.0 SW	16.0 NW	8.0 SW	8.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	12.0 SW		
1984	8.0 SW	8.0 SW	8.0 NW	8.0 SW	8.0 SW	12.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	112.0	9.3
1985	6.0 SE	6.0 SW	6.0 SW	5.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	8.0 SW	10.0 SW	14.0 SW	10.0 SW			
1986	10.0 NE	6.0 SW	6.0 SW	6.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	12.0 SW	10.0 SW	12.0 SW	12.0 SW	114.0	9.5
1987	12.0 SW	8.0 SW	8.0 SW	8.0 SW	10.0 SW									
1988														
1989														
1990														
1991														
1992														
1993														
1994														
1995														
media	8.3	6.6	7.3	7.0	9.6	11.2	9.6	9.2	11.2	11.6	10.4	11.0	113.1	9.4
minima	6.0	5.0	6.0	5.0	8.0	8.0	8.0	8.0	10.0	10.0	10.0	10.0		5.0
maxima	12.0	8.0	8.0	10.0	10.0	16.0	10.0	10.0	14.0	14.0	12.0	12.0		16.0

Tabla 2.2 Datos Meteorológicos.

Fuente: INAMHI²⁰

Los registros que se pudo obtener son completamente similares en los años siguientes a partir de 1988 hasta el 2010.

Debido a la reforestación en la zona y con el calentamiento global se ha visto un incremento en la velocidad del viento en un 3%, es por esta razón que la máxima velocidad del viento se obtendrá en todos los meses del año, lo cual facilita la implementación del Sistema Eólico para que sea óptimo en toda la generación.

²⁰ INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología E Hidrología

2.5 TIPOS DE AEROGENERADORES DE EJE HORIZONTAL

2.5.1.1 Alternativa 1: De una pala

En la figura 2.1 se puede observar un aerogenerador de una pala.



Figura 2.1.- Aerogenerador de una pala.

Fuente: www.energiasrenobables.com

a) **Ventajas.**

- ❖ Velocidad de giro muy elevada,
- ❖ Fácil montaje,
- ❖ Costos de fabricación bajos.

b) **Desventajas.**

- ❖ Al tener una sola pala precisan un contrapeso en el otro extremo,
- ❖ Introducen en el eje unos esfuerzos muy variables,
- ❖ Corta vida de instalación.

2.5.1.2 Alternativa 2: De dos palas

En la figura 2.2 se puede observar un aerogenerador de dos palas.

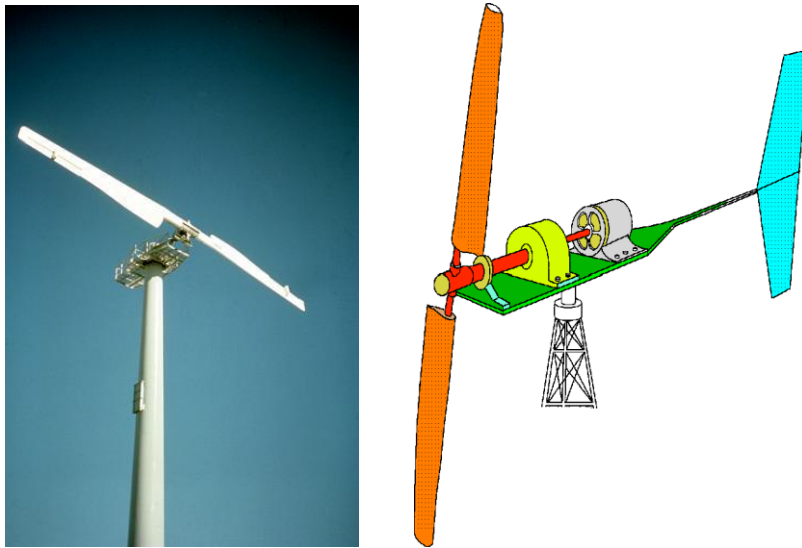


Figura 2.2.- Aerogenerador de dos palas.

Fuente: www.energiasrenovables.com

a) **Ventajas.**

- ❖ Ahorro de dinero en fabricación de las palas,
- ❖ Menores alturas de instalación,
- ❖ Fácil mantenimiento.

b) **Desventajas.**

- ❖ Dificultad para penetrar en el mercado,
- ❖ Necesitan una mayor velocidad de giro para producir la misma energía de salida,
- ❖ Excesivo ruido,
- ❖ Aspecto visual.

2.5.1.3 Alternativa 3: De tres palas

En la figura 2.3 se puede observar un aerogenerador de tres palas.



Figura 2.3.- Aerogenerador de tres palas.

Fuente: www.energiasrenovables.com

a) Ventajas.

- ❖ Extremos de pala variable,
- ❖ Diseño aerodinámico,
- ❖ Freno de las palas por posibles vientos fuertes.

b) Desventajas.

- ❖ Exigen un control cuidadoso,
- ❖ Las palas largas son difíciles de transportar,
- ❖ Necesitan alturas extremas para la generación.

2.5.1.4 Alternativa 4: Multipalas

En la figura 2.4 se puede observar un aerogenerador multipalas.

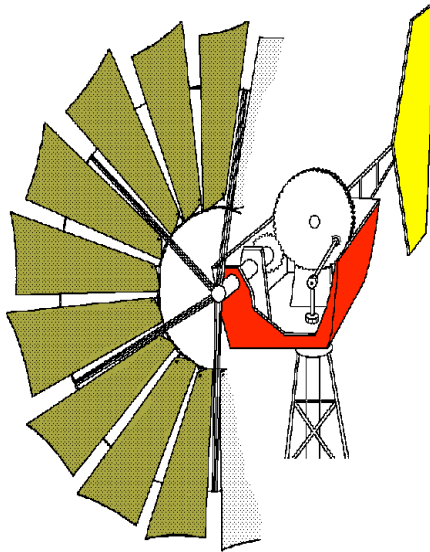


Figura 2.4.- Aerogenerador Multipalas.

Fuente: www.energiasrenovables.com

a) Ventajas.

- ❖ Al poseer más palas permite generar la mayor cantidad de energía con poca velocidad del viento,
- ❖ Alturas menores a diez metros,
- ❖ Uso domestico,
- ❖ Bajo costo de fabricación,
- ❖ Fácil instalación.

b) Desventajas.

- ❖ Aspecto visual,
- ❖ No existe freno para velocidades muy elevadas.

2.5.2 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

La selección de la mejor alternativa se basa en el planteamiento de parámetros de funcionamiento y costos, que cumplan en mayor parte con los requerimientos para la generación de energía eléctrica. Los parámetros considerados son los siguientes.

2.5.2.1 VELOCIDAD DE GIRO

Es muy importante que el sistema de las palas tengan un buen diseño para obtener la mayor velocidad de giro, para una mejor generación de energía eléctrica.

2.5.2.2 PARTES Y PIEZAS

Las partes y piezas deben ser obtenidas o fabricadas de manera fácil, para ser reemplazadas con el tiempo por posibles daños.

2.5.2.3 MONTAJE

La técnica de montaje debe ser coordinada y coherente para que las partes y piezas puedan ser montadas según el diseño.

2.5.2.4 MANTENIMIENTO

El mantenimiento debe ser realizado de fácil acceso al sistema de generación, tanto a las palas como a los elementos que componen la transmisión de potencia.

2.5.2.5 COSTO

Factor fundamental para la toma de decisiones, en el cual se considera la capacidad de financiamiento para el desarrollo desde el proceso de diseño hasta la construcción y fabricación del aerogenerador. A mayor puntuación, es un mejor beneficio costo.

En la tabla 2.3 se presentan los parámetros para las cuatro alternativas.

Parámetros	Alternativa 1 Una pala	Alternativa 2 Dos pala	Alternativa 3 Tres palas	Alternativa 4 Multipalas
1. Velocidad de giro	9	6	5	9
2. Partes y piezas	7	7	4	8
3. Montaje	7	7	3	8
4. Mantenimiento	8	8	3	9
5. Costo	7	7	3	8
TOTAL / 50	38	35	18	42

Tabla 2.3 Parámetros y alternativa (Aerogenerador).

Fuente: PROPIA

Elaborado por: MATIAS SCHWEITZER

2.6 TORRE DE SOPORTE DEL AEROGENERADOR²¹

Es importante su construcción por varias razones:

- ❖ **Su altura.-** El aerogenerador debe estar situado por encima de las perturbaciones causadas por el terreno.
- ❖ **Mantenimiento.-** El acceso a la torre debe ser fácil para su buen mantenimiento.
- ❖ **Robustez.-** La torre deberá resistir las sobrecargas de esfuerzos ocasionados por funcionamiento anormal, ráfagas de viento, y turbulencias.
- ❖ **Forma.-** Preferiblemente angular, para evitar esfuerzos innecesarios en la misma torre mejorando así el flujo de corrientes de aire.

2.7 TIPOS DE TORRES EÓLICAS

Existen tres tipos de torres para turbinas: Torre de mástil tensado, Torre de celosía y Torre tubular. Cada torre tiene sus propias ventajas y desventajas en costos, eficacia, instalación y mantenimiento.

2.7.1.1 Alternativa 1: Torre de mástil tensado

Están fabricadas con tubos de acero y apoyadas por cables tensores. Por lo general se utiliza para 500W a 5KW. La altura de la torre de mástil tensado es por lo general de 6m a 18m.

En la figura 2.5 se puede observar una torre de mástil tensado.

²¹ PAUL GIPE, Energía eólica práctica, Primera edición 2000, España, Pág. 50



Figura 2.5 Torre de mástil tensado.

Fuente: www.energiasrenovables.com

a) Ventajas.

- ❖ La solución de costo más baja e instalación fácil.
- ❖ Posibles soluciones domesticas por alturas menores a 15 metros.

b) Desventajas.

- ❖ No es fácilmente escalable para las inspecciones o reparaciones.
- ❖ Requiere mucho más área para su ubicación.
- ❖ Inestable a sismos y ráfagas de vientos fuertes.

2.7.1.2 Alternativa 2: Torre de celosía

Torre de celosía es hecha por perfiles soldados de acero o sujeción con pernos. Generalmente se utiliza para 3KW a 20KW. La altura de torre de celosía es de 10m a 36m. En la figura 2.6 se puede observar una torre de celosías.



Figura 2.6 Torre de celosía.

Fuente: www.energiasrenovables.com

a) Ventajas.

- ❖ Solución de costo mediano y mantenimiento fácil.
- ❖ Diseño estructural sólido y resistente a sismos.

b) Desventajas.

- ❖ Percibido poco atractivo y no fácil transportar en el caso de que sea soldada.
- ❖ Estricto control en el montaje de los elementos o celosías.

2.7.1.3 Alternativa 3: Torre tubular

Torre tubular también llamada torre independiente. Es hecha por un tubo de acero con un diseño independiente. Se utiliza para 3KW a 50KW turbinas eólicas. La altura de la torre tubular es generalmente de 12m a 36m. En la figura 2.7 se puede observar una torre tubular.



Figura 2.7 Torre tubular.

Fuente: www.energiasrenovables.com

a) Ventajas.

- ❖ Se ven bien y es de la mejor calidad.
- ❖ Ideal para una mayor absorción del viento.

b) Desventajas.

- ❖ La solución más cara.
- ❖ No es de fácil mantenimiento.

2.7.2 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

La selección de la mejor alternativa se basa en el planteamiento de parámetros de funcionamiento y costos, que cumplan en mayor parte con los requerimientos para la generación de energía eléctrica. Los parámetros considerados son los siguientes.

2.7.2.1 FABRICACIÓN

Parámetro que se basa en la facilidad de fabricación y construcción de sus partes y piezas.

2.7.2.2 PARTES Y PIEZAS

La cantidad de elementos que conforman su conjunto; a menor cantidad de elementos y de fácil construcción mayor puntuación.

2.7.2.3 FÁCIL MANTENIMIENTO

Factor fundamental que garantiza el buen desempeño y correcto funcionamiento de la torre, que pueda ser ejecutado por el usuario sin la necesidad de conocimientos técnicos o sea un especialista.

2.7.2.4 COSTO

Factor fundamental para la fabricación de la torre, tomando en cuenta costos de mantenimiento, instalación y transporte de la misma al sitio de emplazamiento.

2.7.2.5 SEGURIDAD

Debe garantizar la seguridad del personal en la instalación, montaje y mantenimiento del equipo.

En la tabla 2.4 se presentan los parámetros para las tres alternativas.

Parámetros	Alternativa 1 Torre de mástil tensado	Alternativa 2 Torre de celosías	Alternativa 3 Torre tubular
1. Fabricación	7	7	6
2. Partes y piezas	6	8	6
3. Fácil mantenimiento	7	8	5
4. Costo	8	8	5
5. Seguridad	4	8	4
TOTAL / 50	32	39	26

Tabla 2.4 Parámetros y alternativa (Torre).

Fuente: PROPIA

Elaborado por: MATIAS SCHWEITZER

De acuerdo a la tabla 2.3 y tabla 2.4 el proyecto se centralizará en la fabricación de un aerogenerador Multipalas con una torre de celosías, ya que tiene un buen rendimiento, costos de fabricación bajos; además el montaje y mantenimiento no son riesgosos.

Su eficiente rendimiento a alturas menores a los 10 metros y su relativo bajo costo los hace muy aptos para sistemas eólicos en sitios residenciales y en donde se requiera implementar este sistema.

CAPITULO 3

3 DISEÑO

3.1 ARMADURAS

Una armadura o una estructura articulada está compuesta de eslabones o barras que se suponen conectadas por pasadores carentes de fricción en las puntas y dispuestas de tal manera que el área que se encuentra cerrada dentro de los contornos de la estructura se subdividen por las barras en figuras geométricas que generalmente son triángulos, como se muestra en la figura 3.1.

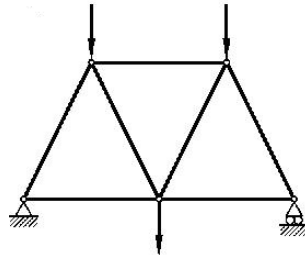


Figura 3.1 Estructura articuladas.

Fuente: NORMA ASCE 10 - 97

3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El presente estudio es el diseño estructural de una torre de celosías para un sistema de generación eléctrica.

El diseño estructural se lo ha realizado según las especificaciones técnicas de las siguientes normas:

- ❖ Norma AISC 360-05 para estructuras metálicas.
- ❖ Norma ASCE 10-97, diseño de estructuras reticuladas
- ❖ Análisis estructural según SAP 2000 V. 14.2.0

3.3 ANÁLISIS DE CARGAS

3.3.1 PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA

Está evaluado directamente por el programa de análisis estructural, con base en los pesos unitarios de los elementos principales multiplicados por las longitudes teóricas.

El peso así calculado fue afectado por un factor de **1.4** para considerar los elementos no estructurales que no se incluyen en el programa de análisis, tales como pernos, platinas, galvanizado, etc.

3.3.2 CARGA DE VIENTO EN LA ESTRUCTURA²²

El viento produce una presión sobre las superficies expuestas. La fuerza depende de:

- ❖ Densidad y velocidad del viento
- ❖ Ángulo de incidencia
- ❖ Forma y rigidez de la estructura
- ❖ Rugosidad de la superficie
- ❖ Altura de la edificación. A mayor altura mayor velocidad del viento

Para una estructura en general se deben calcular las cargas de viento que actúan, en cualquier dirección, sobre:

- a) La estructura en conjunto
- b) Los elementos estructurales individuales, por ejemplo una pared de fachada en especial, el techo.
- c) Las unidades individuales de revestimiento y sus conexiones, vidriería y cubierta con sus aditamentos.

²² www.energiasrenovables.com

Para convertir el efecto del viento en presión se cuenta con dos procedimientos aceptados por las normas, el simplificado o estático y el dinámico.

En el estático se toma una velocidad promedio sin tener en cuenta efectos como rugosidad del terreno y topografía y se convierte en presión por métodos energéticos (energía cinética pasa a ser energía potencial). Si después de realizar el análisis estático se encuentra que el viento es determinante en el diseño, se debe realizar un estudio más profundo de la carga utilizando el método de análisis dinámico.

3.3.3 FUERZA DEL VIENTO

El cálculo de la fuerza del viento se encuentra definido por la siguiente expresión:

$$F_{viento} = \frac{1}{2} \rho V_o^2 \quad \text{Ec.3.1}$$

ρ = es la densidad del aire en función de la altura sobre el nivel del mar, donde su valor estándar es de 1.225 kg/m³.

V_o = Velocidad del viento

$$F_{viento} = \frac{1}{2} (1.225 \text{ kg/m}^3) (16 \text{ m/s})^2$$

$F_{viento} = 156.8 \text{ N}$

- ❖ Para la simulación se considera una fuerza del viento de 150Kg/m² multiplicada por el ancho del perfil metálico, se la aplica como carga uniformemente distribuida en cada elemento de la cara expuesta al viento, según lo que indican los esquemas de carga para el diseño de las torres de esta línea de transmisión.

3.3.4 ESTADOS DE CARGA PARA EL DISEÑO²³

El propósito de los factores de carga, es incrementar las cargas para tomar en cuenta las incertidumbres implicadas al estimar las magnitudes de las cargas vivas y muertas.

Las especificaciones LRFD presentan factores de carga y combinaciones de carga escogidos para usarse con las cargas mínimas recomendadas en la especificación ASCE²⁴ 7-88.

Las combinaciones usuales de carga consideradas en el LRFD están dadas en la siguiente expresión:

$$U = 1.2 D + 1.3 W + 0.5 L \quad \text{Ec.3.2}$$

Donde:

U = Desplazamiento

D = Cargas muertas

W = Cargas de viento

L = Cargas vivas

3.4 MATERIALES

3.4.1 ACERO ESTRUCTURAL

Los Perfiles angulares y platina serán:

ASTM A36

Esfuerzo de Fluencia mínima $f_y = 2531 \text{ Kg/cm}^2$

Resistencia Última $f_u = 4077 \text{ Kg/cm}^2$

²³ Mc. Cormac. Diseño de estructuras metálicas. Pág. 599

²⁴ ASCE (American National Standards Institute)

3.4.2 ESPESOR MÍNIMO DE LOS MATERIALES

- ❖ Miembros angulares 6 mm
- ❖ Miembros secundarios 4 mm

3.4.3 ESBELTECES MÁXIMAS

<i>MIEMBROS</i>	<i>L/r</i>
Patas de la estructura y miembros principales trabajando a compresión.	150
Otros miembros trabajando a compresión, con esfuerzo calculado.	200
Miembros secundarios trabajando a compresión.	250
Brazos trabajando a tensión.	250
Todos los otros miembros trabajando a tensión.	500

Tabla 3.1 Esbelteces máximas.

Fuente: NORMA ASCE 10 - 97

3.5 PROCESO DE CÁLCULO

El tipo geométrico de las torres es de un prisma de base cuadrada, formado por cuatro elementos principales, con regidizadores transversales (diagonales) que tiene la finalidad de controlar las deformaciones máximas y para conseguir longitudes de pandeo apropiadas, según el ASCE 10-97, para los diferentes miembros.

Para obtener como resultado los valores de las fuerzas actuantes o solicitaciones en cada una de las barras, se ha realizado un modelo tridimensional de la torre en el programa SAP2000 V14.2.0, considerando que la estructura está apoyada en sus cuatro apoyos y que los miembros de la torre están liberados para que trabajen como armaduras.

3.6 DIMENSIONAMIENTO (DISEÑO DE ELEMENTOS)

3.6.1 BARRAS

El dimensionamiento de los elementos metálicos se ha realizado a través del programa SAP2000 V14.2.0, para las solicitaciones obtenidas de las cargas de diseño, mediante el chequeo de fuerzas en todos los miembros de la estructura; que se hace de acuerdo con los criterios del ASCE 10-97 (diseño de última resistencia).

Para los elementos a tracción se realiza, además, la comprobación del esfuerzo máximo, calculando el área neta de la sección.

Además se presenta en forma gráfica las relaciones de resistencia de los elementos, que al ser menores que la unidad demuestran la veracidad del diseño.

3.6.2 UNIONES

Todas las uniones se han diseñado con pernos y se ha comprobado la resistencia, tanto al corte como al aplastamiento, desarrollada en cada una de las uniones proyectadas. Para el diseño por corte, el último esfuerzo permisible al corte no excede el 60 % del correspondiente esfuerzo mínimo de tracción (S_{ut})

Para el diseño por aplastamiento, el último esfuerzo permisible al aplastamiento en los agujeros para pernos, basados en el diámetro nominal de los pernos, no excede el 180% del correspondiente esfuerzo de cedencia ($1.8 S_y$) o el 120 % del mínimo esfuerzo permisible de tensión ($1.2 S_{ut}$).

3.6.3 DETALLES DE FABRICACIÓN

Para la fabricación se tomarán en cuenta las siguientes aclaraciones:

- ❖ Los agujeros serán de 1.5 mm (1/16 de pulgada) mayor que el diámetro del perno utilizado e indicado en los planos.
- ❖ Todas las piezas individuales serán marcadas conforme se indica en los planos, por estampado en frío, antes del galvanizado.

3.6.4 ESPECIFICACIONES PARA EL MONTAJE

Se cumplirán con las siguientes tolerancias de montaje, para un correcto ensamblaje de la torre, según la norma ASCE 10-97, diseño de estructuras reticuladas.

- | | |
|-------------------------------|---------------------------------|
| ❖ Nivelación | ± 5 mm |
| ❖ Inclinação para montantes | $\pm 2/1000$ |
| ❖ Verticalidad antes de carga | 0.2 % de la altura del elemento |

Previo al montaje de las torres, se clasificará en el terreno todas las piezas y se las distribuirá por el tramo a que cada una de ellas pertenece, de acuerdo a los planos.

3.7 CONFIGURACIÓN DE LA ESTRUCTURA EN LA SIMULACIÓN

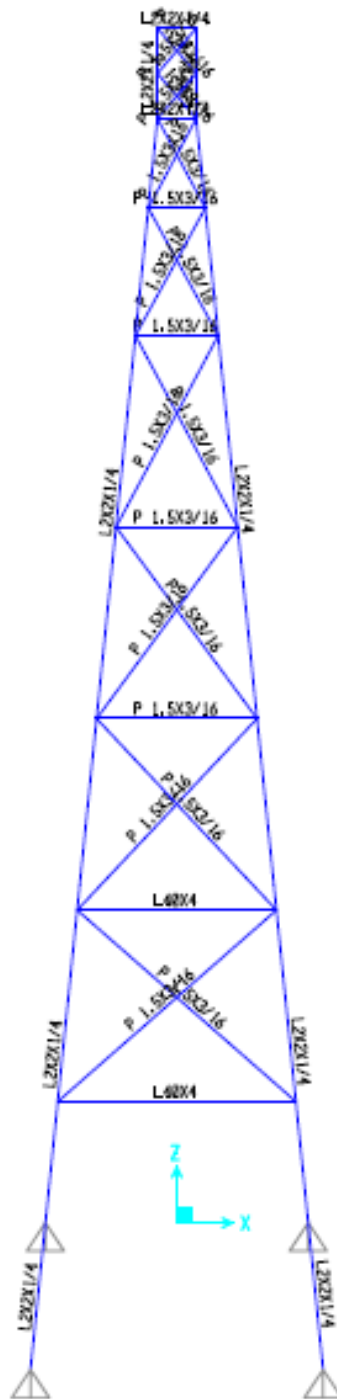


Figura 3.2 Configuración de los elementos estructurales.

Fuente: SAP2000

3.7.1 CARGA VIVA

Las cargas vivas son los pesos del sistema mecánico que componen la generación de energía eléctrica, tomando en cuenta que dos personas estarán instalando y dando mantenimiento al sistema.

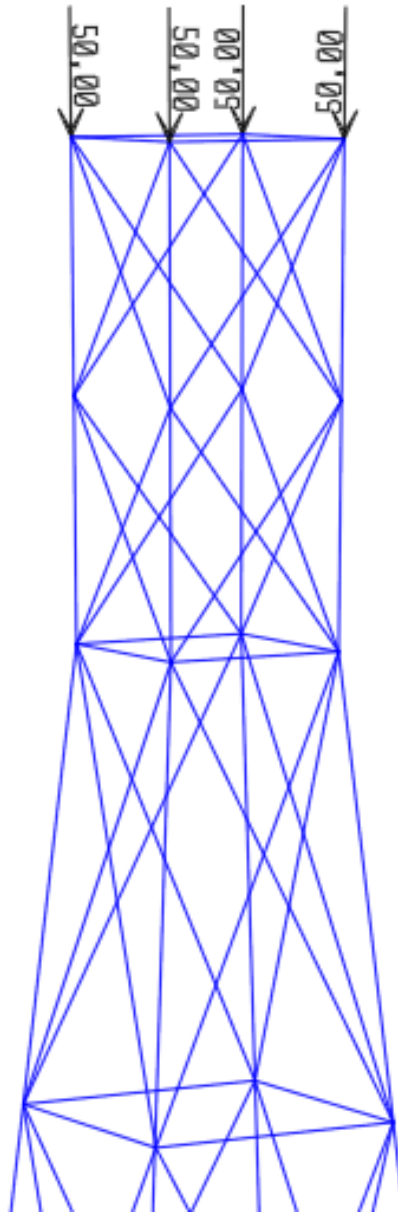


Figura 3.3 Cargas Vivas.

Fuente: SAP2000

3.7.2 CARGA DE VIENTO

Con la fuerza del viento calculado anteriormente en la ecuación Ec.3.1, se procede a aplicar en una de las caras de torre, para determinar qué deformación sufrirá la misma con dicha carga.

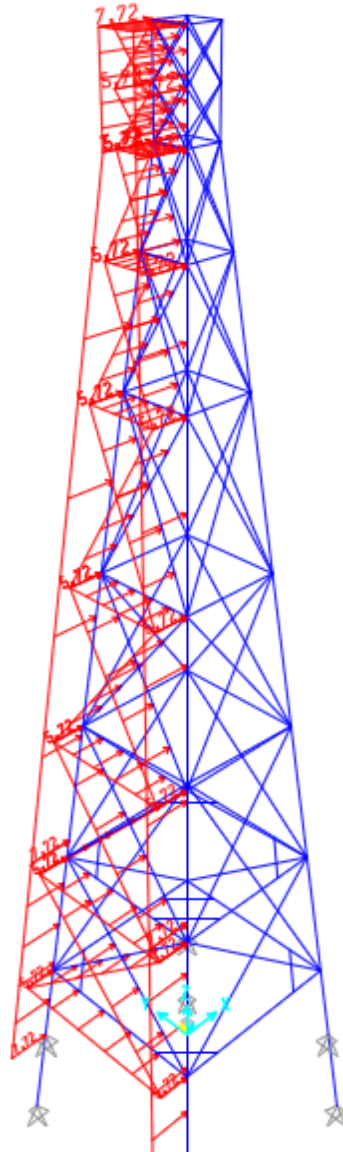


Figura 3.4 Carga de viento.

Fuente: SAP2000

En la figura 3.5 se puede observar el incremento de la velocidad del viento conforme aumenta la altura, es decir la velocidad del viento es directamente proporcional a la altura de la torre. Los puntos acentuados representan el incremento de la velocidad del viento.

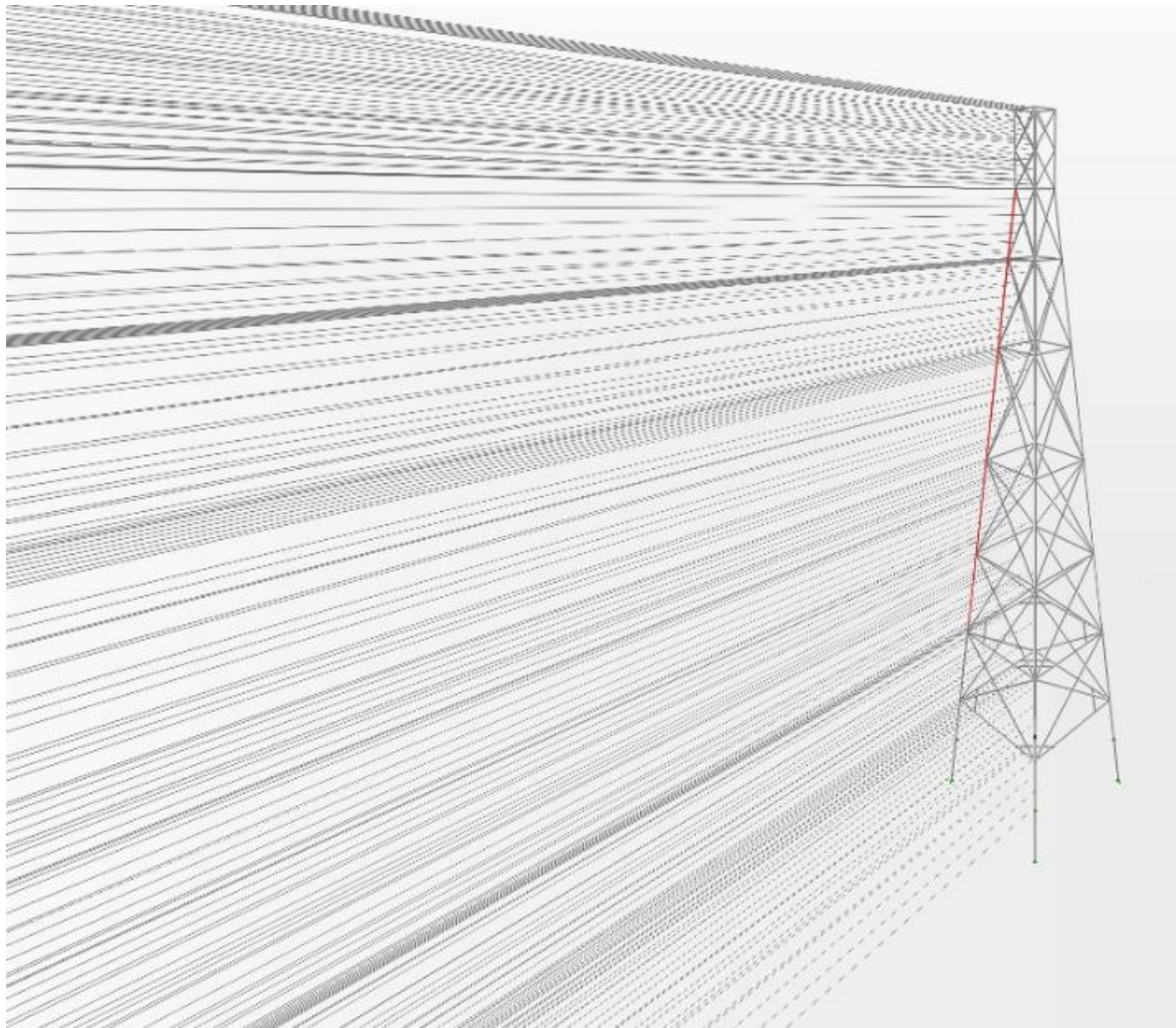


Figura 3.5 Incremento de la velocidad del viento.

Fuente: SAP2000

3.7.3 ESFUERZO AXIAL

En la figura 3.6 se puede observar claramente cómo va a trabajar la estructura con la fuerza del viento en una de las caras de la torre, la zona pintada de amarillo estará a tensión, mientras que la zona pintada de rojo estará a compresión.

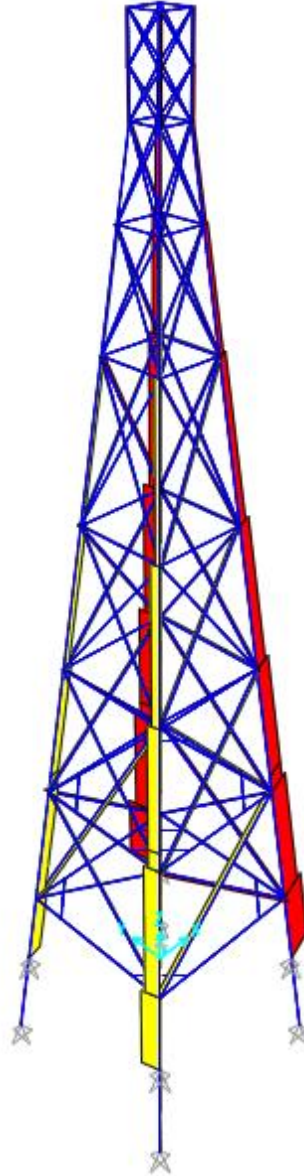


Figura 3.6 Esfuerzos a Tensión y Compresión.

Fuente: SAP2000

3.7.4 DISEÑO DE RADIOS

En esta parte de la simulación se puede observar que elemento falla en el diseño, que para este caso ninguno de los elementos estructurales sobrepasa la zona roja, pese a ser sometida a una velocidad del viento extrema que dicta la norma ASCE 10 – 97, la cual es de 200 km/h.

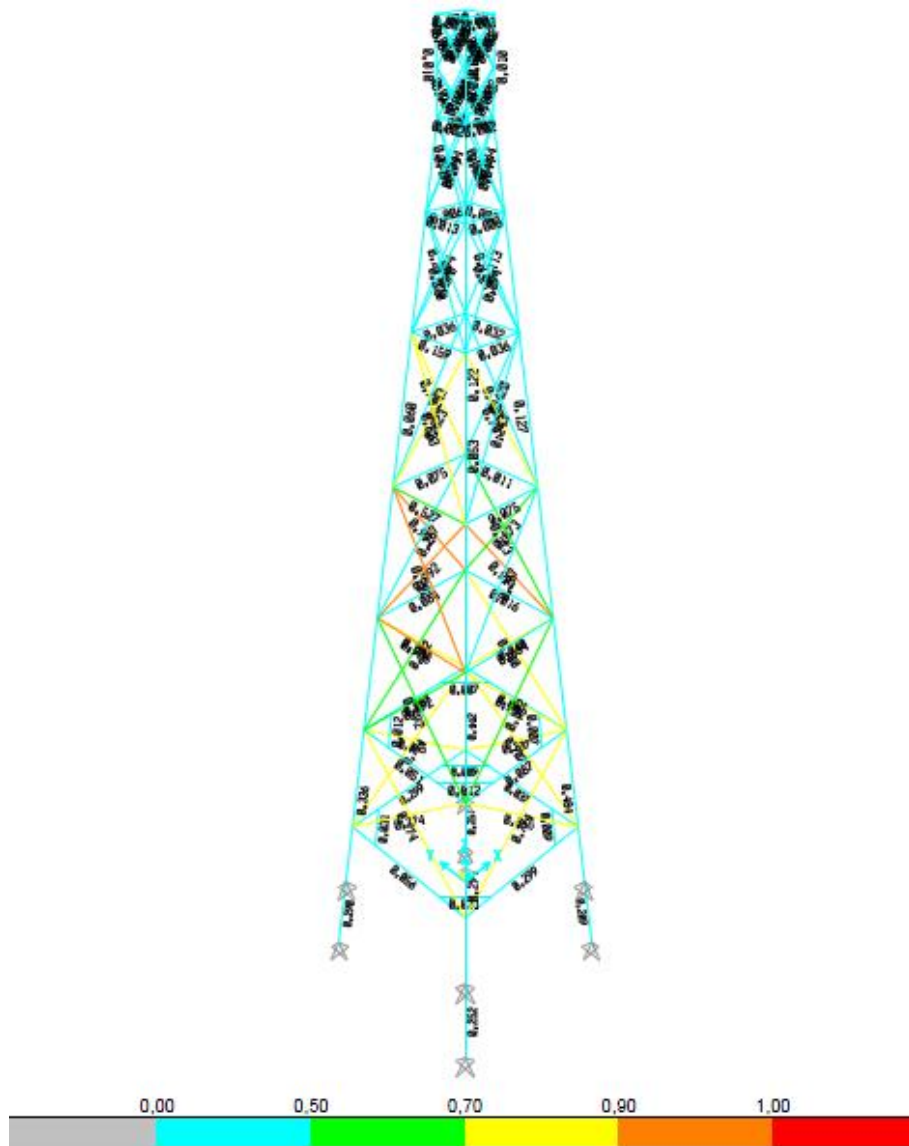


Figura 3.7 Diseño de radios 3D.

Fuente: SAP2000

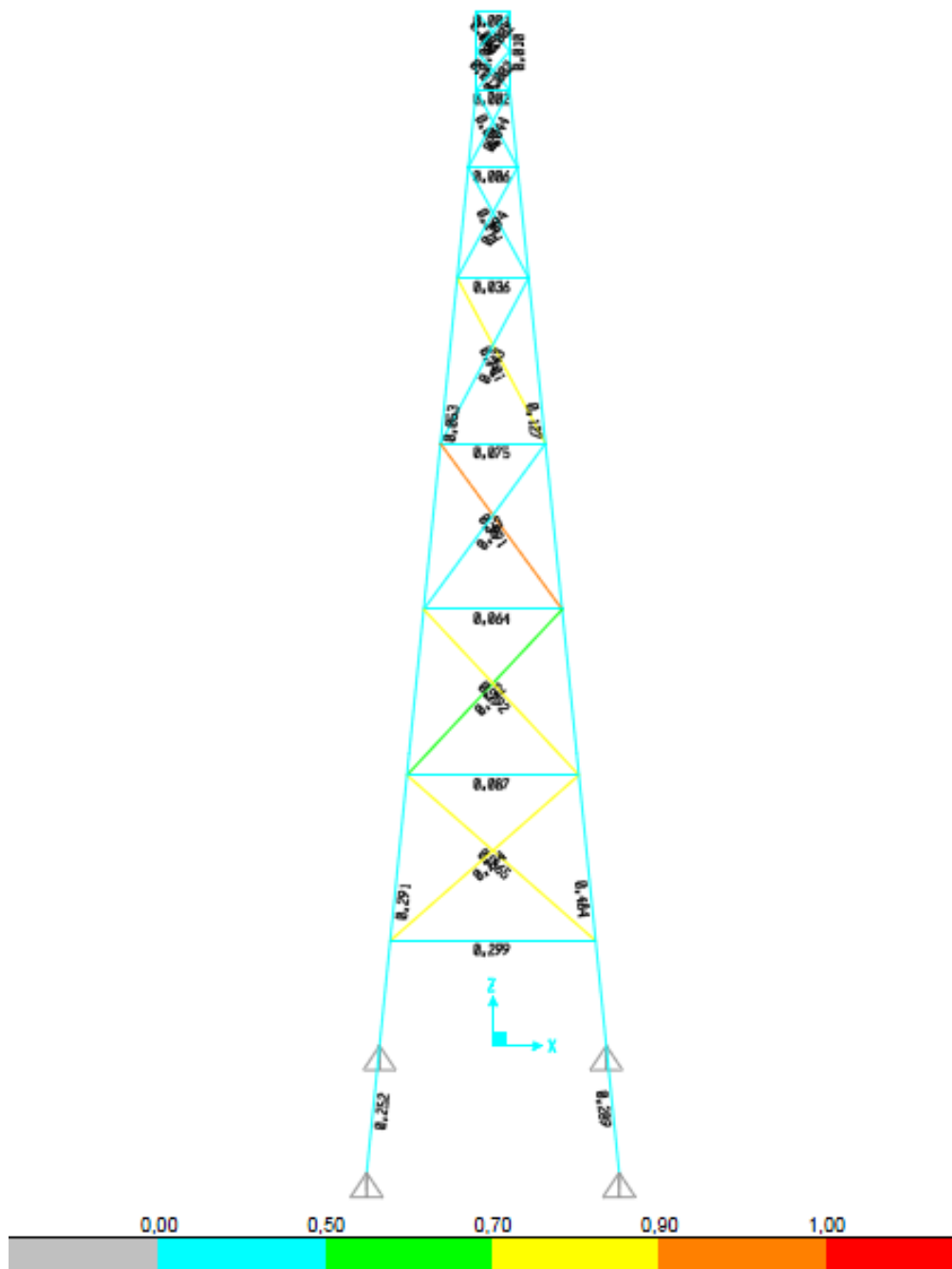


Figura 3.8 Diseño de radios 2D.

Fuente: SAP2000

3.7.5 REACCIONES EN LA BASE

Aquí se puede observar las reacciones que tiene la estructura, además esto permite dimensionar las bases donde se van a realizar la fundición con el hormigón.

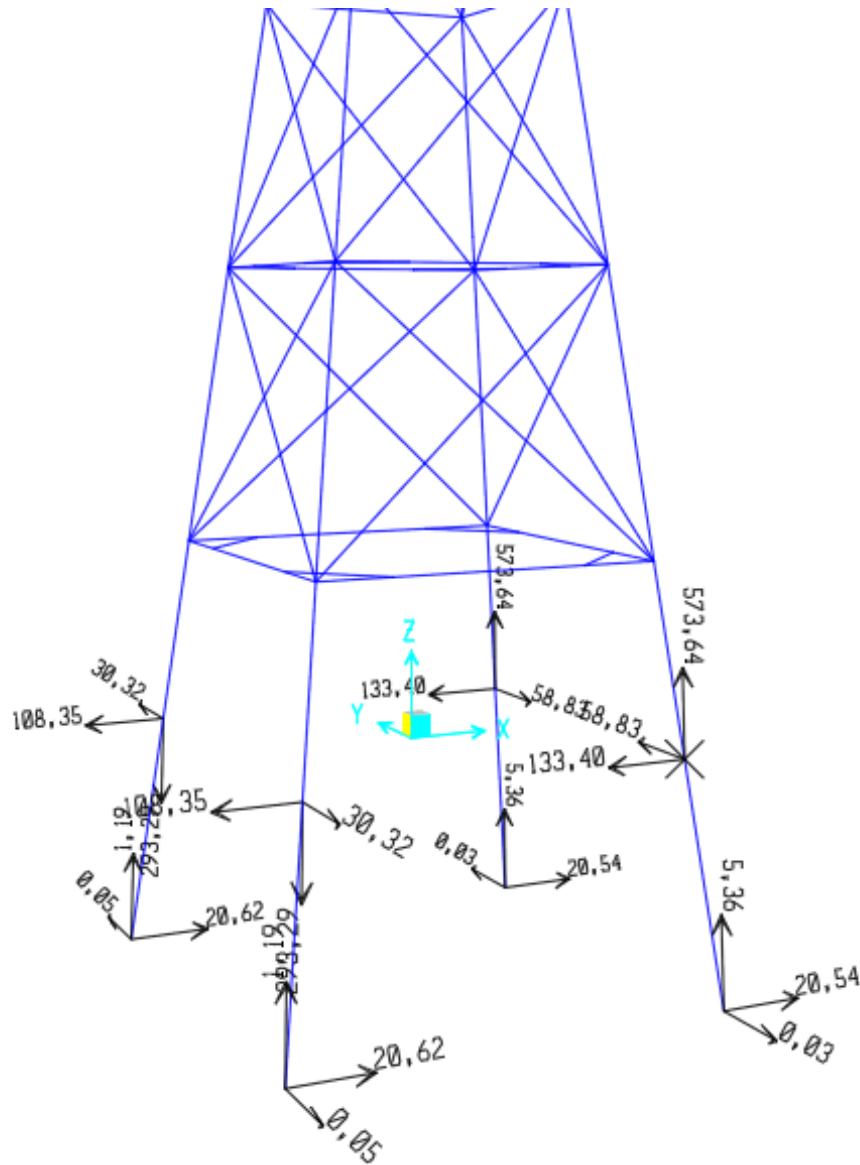


Figura 3.9 Reacciones de la estructura.

Fuente: SAP2000

3.8 DATOS DE ENTRADA AL PROGRAMA SAP2000

3.8.1 ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL

Las tablas siguientes muestran los datos ingresados o importados desde el Auto- CAD para la distribución de los diferentes elementos estructurales.

TABLE: Material Properties 01 - General				
Material	Type	SymType	TempDepend	Color
Text	Text	Text	Yes/No	Text
A36	Steel	Isotropic	No	Blue

TABLE: Material Properties 02 - Basic Mechanical Properties						
Material	UnitWeight	UnitMass	E1	G12	U12	A1
Text	Kgf/m3	Kgf-s2/m4	Kgf/m2	Kgf/m2	Unitless	1/C
A36	7849	800,38	20390000000	7841930445	0,3	0,0000117

TABLE: Material Properties 03a - Steel Data								
Material	Fy	Fu	EffFy	EffFu	SHard	SMax	SRup	FinalSlope
Text	Kgf/m2	Kgf/m2	Kgf/m2	Kgf/m2	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
A36	25310506,54	40778038,32	37965759,81	44855842,15	0,02	0,14	0,2	-0,1

Tabla 3.2 Datos de entrada.

Fuente: SAP2000

3.8.2 PARÁMETROS Y COMBINACIONES DE CARGA

Para las combinaciones de carga en el diseño se toma carga muerta, carga viva y la carga de viento, además se ve los factores de multiplicación en cada una de ellas para el diseño mediante el método LRFD.

TABLE: Case - Static 1 - Load Assignments			
Case	LoadType	LoadName	LoadSF
Text	Text	Text	Unitless
DEAD	Load pattern	DEAD	1
LIVE	Load pattern	LIVE	1
WIND	Load pattern	WIND	1

TABLE: Load Case Definitions						
Case	Type	InitialCond	DesTypeOpt	DesignType	RunCase	CaseStatus
Text	Text	Text	Text	Text	Yes/No	Text
DEAD	LinStatic	Zero	Prog Det	DEAD	Yes	Finished
LIVE	LinStatic	Zero	Prog Det	LIVE	Yes	Finished
WIND	LinStatic	Zero	Prog Det	WIND	Yes	Finished

TABLE: Combination Definitions						
ComboName	ComboType	AutoDesign	CaseType	CaseName	ScaleFactor	SteelDesign
Text	Text	Yes/No	Text	Text	Unitless	Text
PESO PROPIO	Linear Add	No	Linear Static	DEAD	1,4	Strength
SERVICIO	Linear Add	No	Linear Static	DEAD	1,2	Strength
SERVICIO			Linear Static	LIVE	1,6	
VIENTO EXTREMO	Linear Add	No	Linear Static	DEAD	1,2	Strength
VIENTO EXTREMO			Linear Static	LIVE	0,5	
VIENTO EXTREMO			Linear Static	WIND	1,3	

Tabla 3.3 Parámetros de carga.

Fuente: SAP2000

3.8.3 PARÁMETRO DE SECCIÓN

En esta parte se puede observar el tipo de perfiles utilizados en la modelación de la torre.

TABLE: Frame Section Properties 01 - General								
SectionName	Material	Shape	t3	t2	tf	tw	Area	TotalWt
Text	Text	Text	m	m	m	m	m2	Kgf
L2X2X1/4	A36	Angle	0,0508	0,0508	0,00635	0,00635	0,000605	210,9
L40X4	A36	Angle	0,04	0,04	0,004	0,004	0,000308	43,67
P 1.5X3/16	A36	SD Section					0,000181	140,27

Tabla 3.4 Parámetro de sección.

Fuente: SAP2000

3.8.4 REACCIONES EN LA BASE

El programa proporciona los valores de cada una de las reacciones y momentos de las cargas aplicadas a la torre.

TABLE: Base Reactions							
OutputCase	CaseType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
PESO PROPIO	Combination	-6,975E-14	1,989E-13	552,77	-5,428E-13	-9,45E-13	8,178E-14
SERVICIO	Combination	-1,308E-13	3,524E-13	793,81	-1,231E-12	-9,887E-13	1,418E-13
VIENTO EXTREMO	Combination	-401,19	6,23E-12	573,81	-2,699E-11	-1866,22	7,025E-11

Tabla 3.5 Reacciones en la base.

Fuente: SAP2000

3.8.5 REACCIONES EN LOS NODOS

En la tabla 3.6 se tiene las reacciones de los nodos más críticos en donde los elementos estructurales sufren mayor esfuerzo debido a la carga de viento extrema.

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
4	PESO PROPIO	Combination	-13,71	13,71	134,36	0	0	0
4	SERVICIO	Combination	-19,86	19,86	195,17	0	0	0
4	VIENTO EXTREMO	Combination	-133,4	58,83	573,64	0	0	0
5	PESO PROPIO	Combination	0,0472	-0,0472	3,83	0	0	0
5	SERVICIO	Combination	0,04102	-0,04102	3,29	0	0	0
5	VIENTO EXTREMO	Combination	20,54	-0,02719	5,36	0	0	0
9	PESO PROPIO	Combination	-13,71	-13,71	134,36	0	0	0
9	SERVICIO	Combination	-19,86	-19,86	195,17	0	0	0
9	VIENTO EXTREMO	Combination	-133,4	-58,83	573,64	0	0	0
10	PESO PROPIO	Combination	0,0472	0,0472	3,83	0	0	0
10	SERVICIO	Combination	0,04102	0,04102	3,29	0	0	0
10	VIENTO EXTREMO	Combination	20,54	0,02719	5,36	0	0	0
14	PESO PROPIO	Combination	13,71	-13,71	134,36	0	0	0
14	SERVICIO	Combination	19,86	-19,86	195,17	0	0	0
14	VIENTO EXTREMO	Combination	-108,35	30,32	-293,29	0	0	0
15	PESO PROPIO	Combination	-0,0472	0,0472	3,83	0	0	0
15	SERVICIO	Combination	-0,04102	0,04102	3,29	0	0	0
15	VIENTO EXTREMO	Combination	20,62	0,04713	1,19	0	0	0
18	PESO PROPIO	Combination	13,71	13,71	134,36	0	0	0
18	SERVICIO	Combination	19,86	19,86	195,17	0	0	0
18	VIENTO EXTREMO	Combination	-108,35	-30,32	-293,29	0	0	0
19	PESO PROPIO	Combination	-0,0472	-0,0472	3,83	0	0	0
19	SERVICIO	Combination	-0,04102	-0,04102	3,29	0	0	0
19	VIENTO EXTREMO	Combination	20,62	-0,04713	1,19	0	0	0

Tabla 3.6 Reacciones en los nodos críticos.

Fuente: SAP2000

3.8.6 DESPLAZAMIENTO EN EL NODO MÁS AFECTADO EN LA PUNTA

El desplazamiento en la punta de la torre no debe sobrepasar el 1% de la altura total de la torre según la norma ASCE 10 – 97, que para este caso el desplazamiento es de 1 cm.

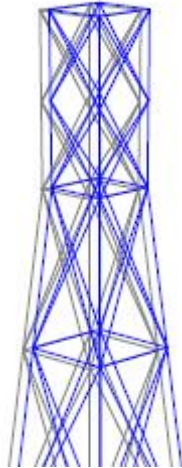


Figura 3.10 Desplazamiento en la punta de la torre.

Fuente: SAP2000

TABLE: Joint Displacements									
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3	
6	PESO PROPIO	Combination	-2,267E-09	2,267E-09	-0,000053	-0,000001972	-0,000001972	-6,404E-19	
6	SERVICIO	Combination	2,797E-08	-2,797E-08	-0,00011	-0,00000903	-0,00000903	-1,22E-18	
6	VIENTO EXTREMO	Combination	0,002125	-5,936E-09	-0,000021	-0,000004486	-0,000291	0,000000549	

Tabla 3.7 Desplazamientos debido a las cargas.

Fuente: SAP2000

3.8.7 SUMARIO DE CONFORMIDAD DE DISEÑO

Al ingresar en el SAP 2000 las cargas que actúan en la torre, el programa proporciona la información de cual elemento sobrepasa el esfuerzo de fluencia mínima, resaltando con un color rojo el elemento y dando un mensaje de error, que para este caso la distribución de los perfiles es correcta en su totalidad.

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC360-05-IBC2006

Frame	DesignSect	DesignType	Status	Ratio	Combo	ErrMsg	WarnMsg
Text	Text	Text	Text	Unitless	Text	Text	Text
1	L2X2X1/4	Brace	No Messages	0,126515	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
2	L2X2X1/4	Beam	No Messages	0,002424	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
3	L2X2X1/4	Brace	No Messages	0,484401	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
4	L2X2X1/4	Brace	No Messages	0,289049	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
5	L2X2X1/4	Column	No Messages	0,009993	SERVICIO	No Messages	No Messages
6	L2X2X1/4	Beam	No Messages	0,001512	SERVICIO	No Messages	No Messages
7	L2X2X1/4	Brace	No Messages	0,121976	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
8	L2X2X1/4	Brace	No Messages	0,442141	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
9	L2X2X1/4	Brace	No Messages	0,251368	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
10	L2X2X1/4	Column	No Messages	0,009993	SERVICIO	No Messages	No Messages
11	L2X2X1/4	Beam	No Messages	0,002424	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
12	L2X2X1/4	Brace	No Messages	0,060062	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
13	L2X2X1/4	Brace	No Messages	0,33585	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
14	L2X2X1/4	Brace	No Messages	0,290132	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
15	L2X2X1/4	Column	No Messages	0,009993	SERVICIO	No Messages	No Messages
16	L2X2X1/4	Beam	No Messages	0,001512	SERVICIO	No Messages	No Messages
17	L2X2X1/4	Brace	No Messages	0,052896	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
18	L2X2X1/4	Brace	No Messages	0,291244	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
19	L2X2X1/4	Brace	No Messages	0,251786	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
20	L2X2X1/4	Column	No Messages	0,009993	SERVICIO	No Messages	No Messages
23	L2X2X1/4	Beam	No Messages	0,001293	SERVICIO	No Messages	No Messages
24	L2X2X1/4	Beam	No Messages	0,001293	SERVICIO	No Messages	No Messages
25	L2X2X1/4	Beam	No Messages	0,001293	SERVICIO	No Messages	No Messages
26	L2X2X1/4	Beam	No Messages	0,001293	SERVICIO	No Messages	No Messages
27	P 1.5X3/16	Beam	No Messages	0,005571	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
28	P 1.5X3/16	Beam	No Messages	0,035712	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
29	P 1.5X3/16	Beam	No Messages	0,075247	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
30	P 1.5X3/16	Beam	No Messages	0,06441	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages

33	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,068442	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
34	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,093595	SERVICIO	No Messages	No Messages
35	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,701386	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
36	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,266695	SERVICIO	No Messages	No Messages
37	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,792154	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
38	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,774312	SERVICIO	No Messages	No Messages
39	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,864717	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
40	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,592093	SERVICIO	No Messages	No Messages
41	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,990785	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
42	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,242839	SERVICIO	No Messages	No Messages
43	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,211203	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
44	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,043858	SERVICIO	No Messages	No Messages
45	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,002135	SERVICIO	No Messages	No Messages
46	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,006433	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
47	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,011628	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
48	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,001795	SERVICIO	No Messages	No Messages
49	P 1.5X3/16	Beam	No Messages	0,001695	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
50	P 1.5X3/16	Beam	No Messages	0,031608	PESO PROPIO	No Messages	No Messages
51	P 1.5X3/16	Beam	No Messages	0,011301	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
52	P 1.5X3/16	Beam	No Messages	0,016498	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
55	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,043858	SERVICIO	No Messages	No Messages
56	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,113359	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
57	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,41995	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
58	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,572953	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
59	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,739713	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
60	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,706682	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
61	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,706682	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
62	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,739713	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
63	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,572953	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
64	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,41995	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
65	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,113359	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
66	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,043858	SERVICIO	No Messages	No Messages
67	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,002135	SERVICIO	No Messages	No Messages
68	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,001795	SERVICIO	No Messages	No Messages
69	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,002135	SERVICIO	No Messages	No Messages
70	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,001795	SERVICIO	No Messages	No Messages
71	P 1.5X3/16	Beam	No Messages	0,005571	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
72	P 1.5X3/16	Beam	No Messages	0,035712	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
73	P 1.5X3/16	Beam	No Messages	0,075247	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
74	P 1.5X3/16	Beam	No Messages	0,06441	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
77	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,043858	SERVICIO	No Messages	No Messages

78	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,211203	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
79	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,242839	SERVICIO	No Messages	No Messages
80	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,990785	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
81	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,592093	SERVICIO	No Messages	No Messages
82	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,864717	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
83	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,774312	SERVICIO	No Messages	No Messages
84	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,792154	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
85	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,266695	SERVICIO	No Messages	No Messages
86	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,701386	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
87	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,093595	SERVICIO	No Messages	No Messages
88	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,068442	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
89	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,011628	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
90	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,001795	SERVICIO	No Messages	No Messages
91	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,002135	SERVICIO	No Messages	No Messages
92	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,006433	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
93	P 1.5X3/16	Beam	No Messages	0,012536	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
94	P 1.5X3/16	Beam	No Messages	0,15948	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
95	P 1.5X3/16	Beam	No Messages	0,527186	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
96	P 1.5X3/16	Beam	No Messages	0,938356	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
99	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,179453	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
100	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,370034	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
101	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,823363	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
102	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,991596	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
103	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,592093	SERVICIO	No Messages	No Messages
104	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,774312	SERVICIO	No Messages	No Messages
105	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,774312	SERVICIO	No Messages	No Messages
106	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,592093	SERVICIO	No Messages	No Messages
107	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,991596	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
108	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,823363	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
109	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,370034	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
110	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,179453	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
111	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,061334	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
112	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,061714	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
113	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,061334	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
114	P 1.5X3/16	Brace	No Messages	0,061714	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
21	L40X4	Beam	No Messages	0,086688	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
22	L40X4	Beam	No Messages	0,299158	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
31	L40X4	Beam	No Messages	0,030781	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
32	L40X4	Beam	No Messages	0,036519	PESO PROPIO	No Messages	No Messages
53	L40X4	Beam	No Messages	0,086688	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
54	L40X4	Beam	No Messages	0,299158	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages

75	L40X4	Beam	No Messages	0,050641	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
76	L40X4	Beam	No Messages	0,056119	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
97	L40X4	Beam	No Messages	0,008881	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
98	L40X4	Beam	No Messages	0,031431	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
115	L40X4	Beam	No Messages	0,031431	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
116	L40X4	Beam	No Messages	0,008881	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
117	L40X4	Beam	No Messages	0,00731	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
118	L40X4	Beam	No Messages	0,01178	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
119	L40X4	Beam	No Messages	0,01178	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages
120	L40X4	Beam	No Messages	0,00731	VIENTO EXTREMO	No Messages	No Messages

Tabla 3.8 Sumario de conformidad de diseño.

Fuente: SAP2000

3.9 PERNOS

Un perno es un sujetador con cabeza y vástago recto roscado, pensado para utilizarse con una tuerca, a fin de mantener unido un conjunto. Un perno está fabricado para ser mantenido estacionario, en tanto que se aprieta una tuerca sobre el mismo para hacer la unión.

Una de las aplicaciones principales de los pernos y tuercas es sujetar las piezas juntas en situaciones donde las cargas aplicadas colocan los pernos a tensión.

Es práctica común pre cargar la unión apretando los pernos con un par de torsión suficiente para crear cargas a tensión cercanas a su resistencia de prueba.

3.9.1 SELECCIÓN DE PERNOS PARA SOPORTAR CARGA A TENSIÓN

El análisis de la tensión en juntas atornilladas se la realiza a partir de la figura 3.11, donde el perno tiene una precarga inicial y se aplica una carga P.

Esta carga P se reparte entre el perno y las piezas unidas respectivamente; dicho reparto depende de la relación entre las rigideces de ambos elementos siempre que se mantenga el contacto. A continuación se definen las siguientes variables.

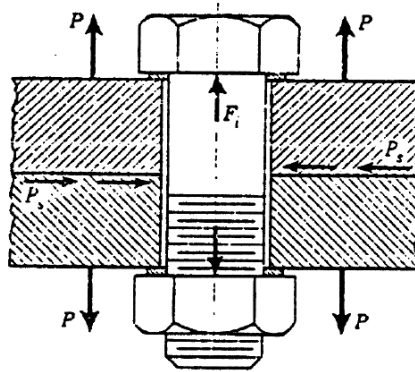


Figura 3.11 Junta Atornillada.

Fuente: SHIGLEY, Joseph; MISCHKE, Charles, "Diseño en Ingeniería Mecánica", Sexta edición,

$$F_i = 0.75 (F_p - C n P) \quad \text{Ec.3.2}$$

Donde:

$$C = \left(\frac{K_b}{K_m + K_b} \right) \quad \text{Ec.3.3}$$

Donde:

C = Constante de rigidez

K_b = Constante de rigidez del perno

K_m = Módulo de rigidez de los miembros de la junta atornillada

P = La carga extrema que se aplica

F_i = Precarga

El módulo de rigidez de los miembros de la junta atornillada es:

$$K_m = \left(\frac{\pi E D}{2 \ln \left[5 \left(\frac{l+0.5D}{l+2.5D} \right) \right]} \right) \quad \text{Ec.3.4}$$

$$K_b = \frac{A E}{l} = \frac{\pi D^2 E}{4 l} \quad \text{Ec.3.5}$$

Donde:

D = Diámetro del perno

E = Módulo de lasticidad del material

l = Longitud de agarre de la junta atornillada

La condición para seguridad se debe encontrar entre el siguiente intervalo:

$$0.6 F_p < F_i < 0.9 F_p \quad \text{Ec.3.6}$$

Donde F_p es la carga de prueba y se expresa de la siguiente manera:

$$F_p = A_t S_p \quad \text{Ec.3.7}$$

Donde:

A_t = Área de esfuerzos a la tensión

S_p = Resistencia a prueba (Tablas)






GRADOS Y MARCAS	ESPECIFICACION	MATERIAL	DIAMETRO NOMINAL DEL PERNO	CARGA DE PRUEBA	RESISTENCIA MIN A LA TRACCION	CARGA DE PRUEBA	RESISTENCIA MIN. A LA TRACCION	CARGA DE PRUEBA	RESISTENCIA MIN. A LA TRACCION
				PSI		KG/mm		MPA	
 Grado 2	ASTM-A307 GRADO A	ACERO DE BAJO CAROBONO	1/4" HASTA 3"		60.000		42		414
 Grado 5	ASTM-A449 TIPO 1	ACERO DE MEDIO CAROBONO TEMPLADO Y REVENIDO	1/4" HASTA 1 " SOBRE 1" HASTA 1.1/2"	85.000 74.000 55.000	120.000 105.000 90.000	60 52 39	84 74 63	588 510 379	827 724 620
 Grado 8	ASTM-A354 GRADO BD	ACERO ALEADO TEMPLADO Y REVENIDO	1/4" HASTA 2.1/2 "	120.000	150.000	84	105	827	1034
			SOBRE 2.1/2" HASTA 4"	105.000	140.000	74	98	724	965
 A 325	ASTM-A325 TIPO 1	ACERO DE MEDIO CAROBONO TEMPLADO Y REVENIDO	1/2" HASTA 1"	85.000	120.000	60	84	588	827
			SOBRE 1" HASTA 1.1/2"	74.000	105.000	52	74	510	724
 A 490	ASTM-A490 TIPO 1	ACERO ALEADO TEMPLADO Y REVENIDO	1/2" HASTA 1.1/2"	120.000	150.000	84	105	827	1034

Tabla 3.9 Especificaciones para el acero usado en los pernos de la serie en pulgadas²⁵.

Fuente: CASTILLO HERMANOS

Ademas es posible determinar un factor de seguridad contra la separación de la unión expresada en la siguiente ecuación:

$$n_{sep} = \frac{F_p - F_i}{P C} \quad \text{Ec.3.8}$$

²⁵ www.castillohermanos.com

3.9.2 SELECCIÓN DE PERNOS PARA SOPORTAR CARGA A CORTE

Los pernos sirven también para resistir cargas al cortante. La precarga a tensión en este caso tiene la finalidad de crear elevadas fuerzas de fricción entre los elementos atornillados que pueden resistir la carga por cortante. Por lo que, los pernos siguen cargados a tensión con alta precarga. Si la fricción en la unión no es suficiente para soportar las cargas de cortante, entonces los pernos quedarán colocados a cortante directo.

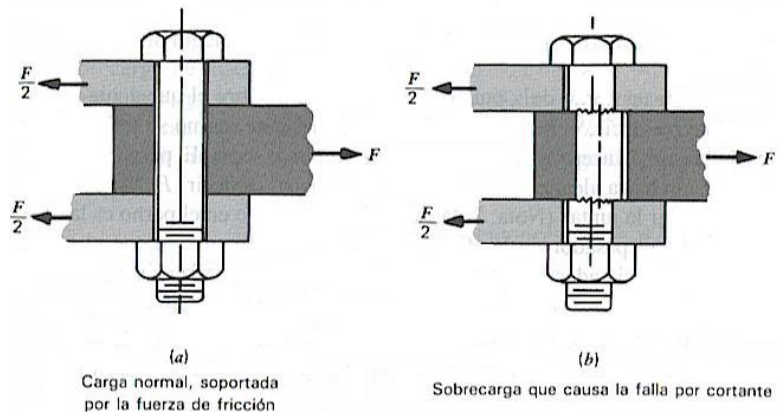


Figura 3.12 Perno sometido a corte doble.

Fuente: SHIGLEY, Joseph; MISCHKE, Charles, “Diseño en Ingeniería Mecánica”, Sexta edición,

El esfuerzo cortante al que está sometido el perno es:

$$\tau = \frac{F_{perno}}{A} = \frac{4 F_{perno}}{\pi D^2} \quad \text{Ec.3.9}$$

Donde:

F_{perno} = Fuerza que soporta cada perno

D = Diámetro del perno

A = Área de corte

La resistencia de fluencia al corte se obtiene de la siguiente expresión:

$$S_{sy} = 0.577 S_y \quad \text{Ec.3.10}$$

Además es posible determinar un factor de seguridad a partir de:

$$n_{sep} = \frac{S_{sy}}{\tau} \quad \text{Ec.3.11}$$

3.9.3 SELECCIÓN DE PERNOS

La selección de pernos se la realiza para soportar cargas a tensión y para soportar cargas a corte, para la selección de los pernos se tomara en cuenta el peso en la componente X de estructura dividido para cuatro, puesto que la torre es de cuatro lados mas el peso del sistema eólico (cargas a corte) y el peso en la componente Y de la estructura (cargas a tensión).

- ❖ Los pernos seleccionados son 6 pernos de ½" x 1 ¼" galvanizados
- ❖ El peso de la estructura será de:

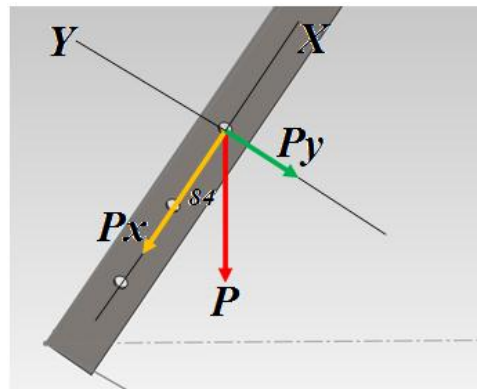


Figura 3.13 Diagrama de cuerpo libre de la base de sujeción de la torre.

Fuente: PROPIA

$$P = 1199 \text{ lb}$$

P_x = Carga a Corte

P_y = Carga a Tensión

$$P_x = \text{Cos} (84) \times \frac{1199 \text{ N}}{4}$$

$$P_x = 31.33 \text{ lb}$$

$$P_y = \text{Sen} (84) \times \frac{1199 \text{ N}}{4}$$

$$P_y = 298.1 \text{ lb}$$

3.9.4 SELECCIÓN DE PERNOS CARGAS A TENSIÓN

El peso de la estructura en la componente Y de cada una de las cuatro vigas se divide en seis pernos, por lo tanto la carga externa aplicada es de:

$$P = \frac{\text{Peso}}{\# \text{pernos}}$$

$$P = \frac{298.1 \text{ lb}}{6}$$

$$P = 49.68 \text{ lb}$$

De la ecuación Ec.3.4 obtenemos el valor K_m

$$K_m = \left(\frac{\pi E D}{2 \ln \left[5 \left(\frac{l+0.5D}{l+2.5D} \right) \right]} \right)$$

$$K_m = \left(\frac{\pi (2.75 \times 10^7 \frac{lb}{plg^2})(0.5 plg)}{2 \ln \left[5 \left(\frac{0.47+0.5(0.5)}{0.47+2.5(0.5)} \right) \right]} \right)$$

$$K_m = 2.92 \times 10^7 \frac{lb}{plg}$$

De la ecuación Ec.3.5 obtenemos el valor de K_b :

$$K_b = \frac{A E}{l} = \frac{\pi D^2 E}{4 l}$$

$$K_b = \frac{\pi (0.5)^2 (2.75 \times 10^7 \frac{lb}{plg^2})}{4 (0.47)}$$

$$K_b = 1.14 \times 10^7 \frac{lb}{plg}$$

El valor de la constante de rigidez es de:

$$C = \left(\frac{K_b}{K_m + K_b} \right)$$

$$C = \left(\frac{1.14 \times 10^7}{2.92 \times 10^7 + 1.14 \times 10^7} \right)$$

$$C = 0.28$$

Utilizando un factor de seguridad contra la separación de la unión de:

$$n = 3$$

La precarga se la obtiene de la ecuación Ec.3.2

$$F_i = 0.75 (A_t S_p - C n P)$$

$$F_i = 0.75 [1.6 \times 10^4 - (0.28)(3)(49.68)]$$

$$F_i = 1.19 \times 10^4 \text{ lb}$$

La condición para seguridad debe estar en el siguiente intervalo:

$$0.6 F_p < F_i < 0.9 F_p$$

$$F_p = A_t S_p$$

$$F_p = 1.6 \times 10^4 \text{ lb}$$

- ❖ $F_i = 1.19 \times 10^4 \text{ lb}$, es decir se encuentra en el intervalo para que los pernos trabajen a tensión.

3.9.5 SELECCIÓN DE PERNOS PARA SOPORTAR CARGA A CORTE

Con esta selección se puede determinar si los pernos pueden soportar cargas a corte, para lo cual se calcula el esfuerzo cortante al que está sometido el perno.

$$\tau = \frac{F_{perno}}{A} = \frac{4 F_{perno}}{\pi D^2}$$

La carga a corte que se tiene es de:

$$Px = 31.33 \text{ lb}$$

En la sujeción de la base de las vigas se ubicó 6 pernos, es por esta razón que la fuerza que ejercerá cada perno sera la siguiente:

$$F_{perno} = \frac{Px}{\# \text{ pernos}}$$

$$F_{perno} = \frac{31.33 \text{ lb}}{6}$$

$$F_{perno} = 5.22 \text{ lb}$$

El esfuerzo cortante es de:

$$\tau = \frac{4 F_{perno}}{\pi D^2}$$

$$\tau = \frac{4 (5.22)}{\pi (0.5)^2}$$

$$\tau = 26.58 \text{ PSI}$$

La resistencia de fluencia al cortante se obtiene de la ecuación Ec.3.10

$$S_{sy} = 0.577 S_y$$

$$S_{sy} = 490 \text{ PSI}$$

A continuación podemos determinar un factor de seguridad para saber si los pernos resistirán cargas a tensión.

$$n_{sep} = \frac{S_{sy}}{\tau}$$

$$n_{sep} = \frac{490 \text{ PSI}}{26.58 \text{ PSI}}$$

$$n_{sep} = 18$$

- ❖ Tomando en cuenta este factor de seguridad se puede llegar a la conclusión que los pernos van a resistir cargas a tensión.

3.10 CÁLCULO DE LA POTENCIA EÓLICA DISPONIBLE

La potencia extraíble del viento depende de la velocidad del mismo, de la densidad del aire y del área barrida por el viento. Esta última será independiente del número de palas, siendo solo función del diámetro.

Así, para el aerogenerador de nueve palas de 2.10 m de diámetro, el área barrida Ec.1.2 será:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi (2.1)^2}{4}$$

$$A = 3.46 \text{ m}^2$$

La potencia extraíble Ec.1.1 del viento a una velocidad de 16m/s al barrer el área será:

$$P_T = A\rho V_0^3/2$$

$$P_T = (3.46\text{m}^2)(1.225 \text{ kg/m}^3)(16\text{m/s})^3/2$$

$$P_T = 8680,44 \text{ Watts}$$

Esta potencia es la que tiene el viento, pero al extraerla se obtiene un rendimiento máximo denominado coeficiente de potencia C_p , cuyo valor máximo en teoría puede ser 0,59 (límite de Betz), pero que en realidad raramente supera el 0,5 en condiciones normales.

Este límite viene dado por la incapacidad del rotor de convertir toda la energía cinética del viento en energía mecánica. Las posteriores limitaciones constructivas de la máquina (pérdidas mecánicas o eléctricas) hacen que el valor práctico de C_p este, en el mejor de los casos en 0,5.

Aplicando la ecuación Ec.1.1, la potencia eléctrica de la máquina con un C_p igual a 0,5 a una velocidad de 16m/s, será:

$$P_T = C_p P_{\text{viento}}$$

$$P_T = (0.5) (8680.44 \text{ watts})$$

$$P_T = 4340.22 \text{ watts}$$

3.11 DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN

3.11.1 EJE MOTRIZ

Los árboles y ejes son elementos de máquinas, generalmente de sección transversal circular, usados para sostener piezas que giran solidariamente o entorno a ellos. Algunos elementos que se montan sobre árboles y ejes son ruedas dentadas, poleas, piñones para cadena, acoples y rotores. Los ejes no transmiten potencia y pueden ser giratorios o fijos. Por otro lado, los árboles o flechas son elementos que giran soportando pares de torsión y transmitiendo potencia.

El diseño de árboles comprende básicamente:

- ❖ Selección del material
- ❖ Diseño constructivo (configuración geométrica)
- ❖ Verificación de la resistencia:
- ❖ Verificación de la rigidez del árbol:
- ❖ Deflexión por flexión
- ❖ Deformación por torsión

El material más utilizado para árboles y ejes es el acero. Se recomienda seleccionar un acero de bajo o medio carbono, de bajo costo. Si las condiciones de resistencia son más exigentes que las de rigidez, podría optarse por aceros de mayor resistencia.

Es necesario hacer el diseño constructivo al inicio del proyecto, ya que para poder hacer las verificaciones por resistencia, por rigidez, se requieren algunos datos sobre la geometría o dimensiones del árbol.

El diseño constructivo consiste en la determinación de las longitudes y diámetros de los diferentes tramos o escalones, así como en la selección de los métodos de fijación de las piezas que se van a montar sobre el árbol. En esta etapa se deben tener en cuenta, entre otros, los siguientes aspectos:

- ❖ Fácil montaje, desmontaje y mantenimiento.
- ❖ Los árboles deben ser compactos, para reducir material tanto en longitud como en diámetro (A mayores longitudes, mayores tenderán a ser los esfuerzos debidos a flexión y, por lo tanto, los diámetros).
- ❖ Permitir fácil aseguramiento de las piezas sobre el árbol para evitar movimientos indeseables.
- ❖ Generalmente los árboles se construyen escalonados para el mejor posicionamiento de las piezas.
- ❖ Generalmente los árboles se soportan sólo en dos apoyos, con el fin de reducir problemas de alineamiento de éstos.
- ❖ Ubicar las piezas cerca de los apoyos para reducir momentos flectores.
- ❖ Mantener bajos los costos de fabricación.
- ❖ Basarse en árboles existentes o en la propia experiencia, para configurar el árbol (consultar catálogos y analizar reductores y sistemas de transmisión de potencia).

Después del diseño constructivo puede procederse a verificar la resistencia del árbol. Los árboles deben tener la capacidad de soportar las cargas normales de trabajo y cargas eventuales máximas, durante la vida esperada. Entonces, se debe verificar la resistencia del árbol a la fatiga y a las cargas dinámicas; estas últimas son generalmente las cargas producidas durante el arranque del equipo.

3.11.2 TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Las flechas y los tubos que tienen secciones transversales circulares se usan a menudo para transmitir la potencia desarrollada por una máquina. Cuando se usan para este fin, quedan sometidos a pares de torsión que dependen de la potencia generada por la máquina y de la velocidad angular de la flecha.

La potencia se define como el trabajo efectuado por unidad de tiempo; que para este caso dicha potencia es el potencial eólico.

El trabajo transmitido por una flecha en rotación es igual al par de torsión aplicado por el ángulo de rotación. Por tanto, si durante un instante de tiempo dt un par de torsión aplicado T ocasiona que la flecha gire un ángulo $d\theta$, entonces la potencia instantánea es:

$$P = \frac{Td\theta}{dt}$$

Puesto que la velocidad angular es $W = d\theta/dt$, podemos también expresar la potencia como:

$$P = TW \quad \text{Ec.3.12}$$

Donde:

P = Potencia que se quiere generar (en W)

T = Par motor (en N·m)

W = Velocidad angular (en rad/s)

La velocidad de giro de la porta aspas en rpm se expresa en la siguiente ecuación:

$$W = \frac{V}{r} \quad \text{Ec.3.13}$$

Donde:

W = velocidad angular

V = velocidad del viento (m/s)²⁶

r = radio del porta aspas (m)

$$W = \frac{V}{r}$$

$$W = \frac{16 \frac{m}{s}}{1.05 m}$$

$$W = 15.23 \frac{rad}{s} \times \frac{1 rev}{2 rad} \times \frac{60 s}{1 min}$$

$$W = 145.43 \text{ rpm}$$

Por lo tanto según la ecuación Ec.3.12 despejamos el trabajo:

$$T = \frac{P}{W}$$

²⁶ Tabla 2.2: datos Meteorológicos

$$T = \frac{8680.44 \text{ watts}}{15.23 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$T = 570 \text{ N.m}$$

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO SAE 1018²⁷

Acero de bajo contenido de carbono, usado comúnmente donde se requieran aplicaciones con cargas mecánicas no muy severas, pero con ciertos grados de tenacidad importantes, como por ejemplo pernos y tuercas, piezas de máquinas pequeñas, ejes, bujes, pasadores, grapas, etc.

ANÁLISIS TÍPICO

	C	Mn	P	S
SAE 1018	0.15 – 0.20	0.60 – 0.90	0.040	0.050

PROPIEDADES

S_{ut}	49.5 KSI	320 MPa
S_y	32 KSI	220 MPa

Tabla 3.10 Propiedades del Acero SAE 1018.

Fuente: Shigley, Richard G Budynas, Diseño en Ingeniería Mecánica, 8 va. edición , McGraw-Hill, México, 2006.

²⁷ Shigley, Richard G Budynas, Diseño en Ingeniería Mecánica, 8 va. edición , McGraw-Hill, México, 2006.

3.11.3 REACCIONES SOBRE EL EJE MOTRIZ EN EL PLANO X-Y

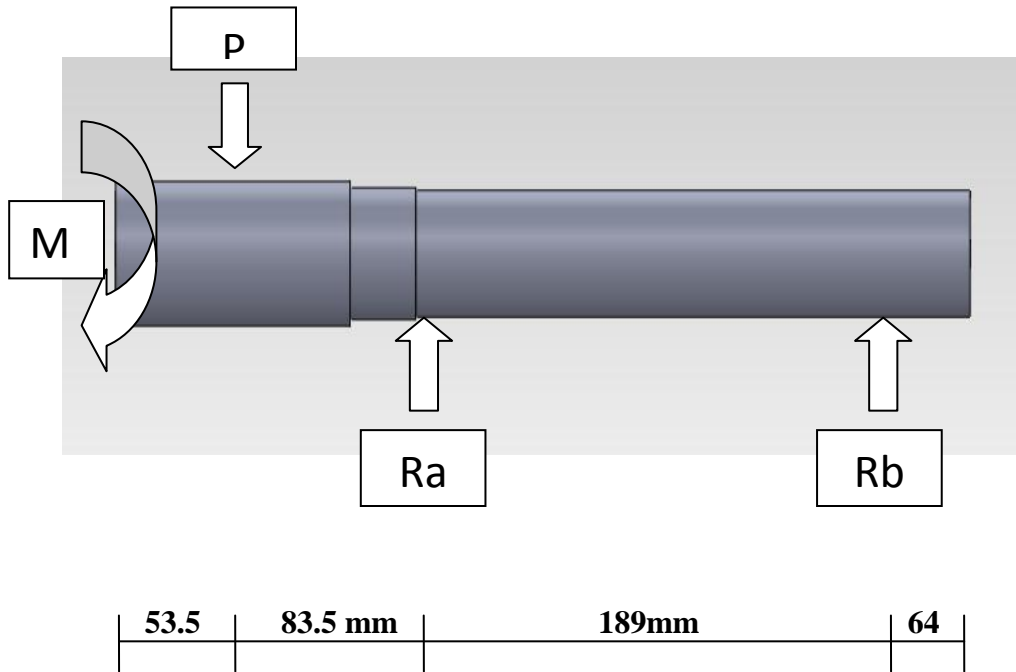


Figura 3.14 Diagrama de fuerzas y reacciones en el eje motriz.

Fuente: PROPIA

Donde:

$$M = F_{\text{viento}} \times \text{Radio del aspa}$$

Ec.3.14

$$M = 156.8 \text{ N} \times 1 \text{ m}$$

$$M = 156.8 \text{ N.M}$$

P = Peso Total del porta aspas

Ec.3.15

$$P = 222.95 \text{ N}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$P = Ra + Rb$$

$$Ra = 222.95 \text{ N} - Rb$$

Ec.3.16

$$\sum Ma = 0$$

$$156.8 \text{ N.m} - (222.95 \text{ N}) (0.0835 \text{ m}) - Rb (0.189) = 0$$

$$Rb = 726.9 \text{ N}$$

Ec.3.17

❖ Se reemplaza la ecuación Ec.3.17 en la ecuación Ec.3.16:

$$Ra = 503.95 \text{ N}$$

3.11.4 DIAGRAMA DE MOMENTO CORTANTE Y FLECTOR

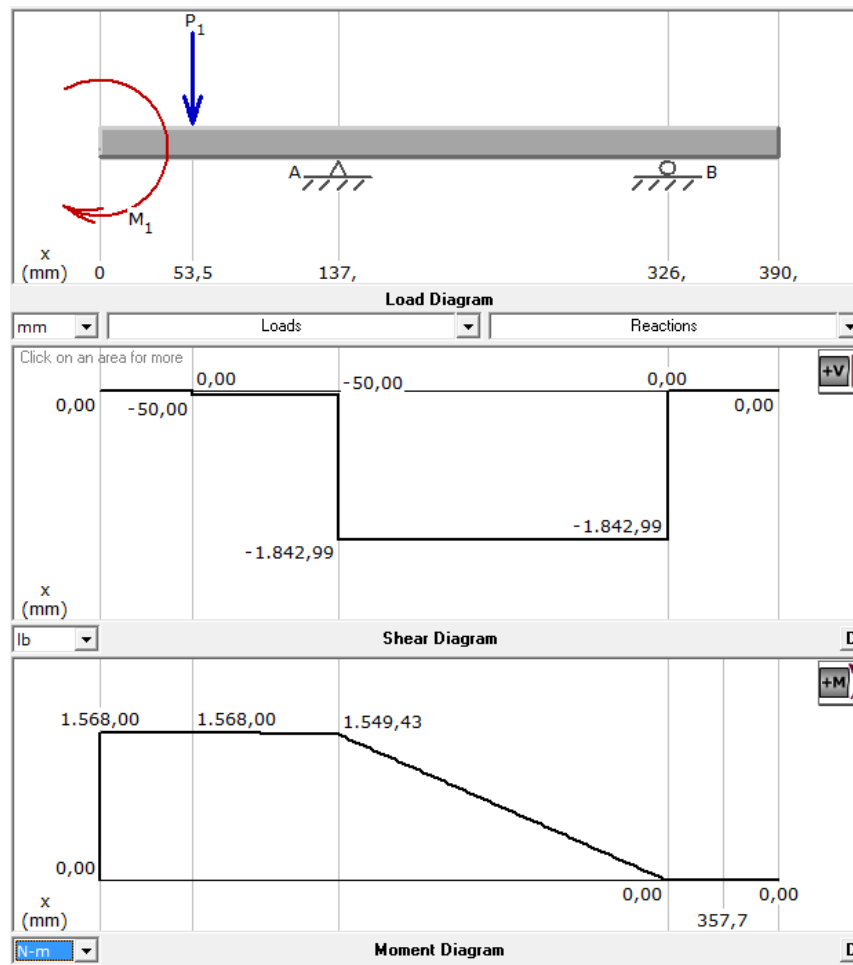


Figura 3.15 Diagrama de momento cortante y flector.

Fuente: MD Solids 3.5

Según el diagrama del momento cortante y flector el momento máximo del eje motriz es el siguiente:

$$M_{m\acute{a}x} = 1568 \text{ N.m}$$

❖ Con este valor del momento máximo se puede diseñar el eje motriz a flexión y torsión.

3.11.5 DISEÑO DEL EJE MOTRIZ POR FLEXIÓN Y TORSIÓN

- ❖ El esfuerzo de torsión para ejes se encuentra calculado por la siguiente expresión:

$$\tau = \frac{T x r}{J} \quad \text{Ec.3.18}$$

Donde:

τ = Esfuerzo a torsión

T = Torque

r = radio

J = Momento polar de inercia

Donde:

$$J = \frac{\pi x d^4}{32} \quad \text{Ec.3.19}$$

Reemplazando la ecuación Ec.3.19 en la ecuación Ec.3.18 se obtiene:

$$\tau = \frac{16 T}{\pi d^3} \quad \text{Ec.3.20}$$

- ❖ El esfuerzo por flexión se encuentra calculado por la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{M C}{I} \quad \text{Ec.3.21}$$

Donde:

σ = Esfuerzo por flexión

M = Momento máximo

C = Distancia del eje neutro al extremo

I = Momento de inercia

Donde:

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad \text{Ec.3.22}$$

$$C = \frac{d}{2} \quad \text{Ec.3.23}$$

Reemplazando la ecuación Ec.3.22 y la ecuación Ec.3.23 en la ecuación Ec.3.21 se obtiene:

$$\sigma = \frac{32 M}{\pi d^3} \quad \text{Ec.3.24}$$

3.10.6 DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO DEL EJE MOTRIZ

Tomando los datos obtenidos anteriormente tanto del torque como del momento máximo se procede a calcular el diámetro el eje motriz.

- ❖ Por el esfuerzo de torsión ecuación Ec.3.20

$$\tau = \frac{16 T}{\pi d^3}$$

$$\tau = \frac{16 (569.5 \text{ N.m})}{\pi d^3}$$

❖ Por el esfuerzo de flexión ecuación Ec.3.24

$$\sigma = \frac{32 M}{\pi d^3}$$

$$\sigma = \frac{32 (1568 N.m)}{\pi d^3}$$

Según la teoría de la máxima energía de deformación se tiene que:

$$[\sigma] = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad \text{Ec.3.25}$$

Donde:

$[\sigma]$ = Esfuerzo permisible del acero SAE 1018

Sabiendo que:

$$[\sigma] = \frac{S_y}{F_s} \quad \text{Ec.3.26}$$

Donde:

S_y = esfuerzo de fluencia del acero SAE 1018

F_s = Factor de seguridad

$$[\sigma] = \frac{S_y}{F_s}$$

$$[\sigma] = \frac{220 \text{ MPa}}{2} = 110 \text{ MPa}$$

Reemplazando los valores del esfuerzo permisible, esfuerzo de torsión y esfuerzo de flexión en la ecuación Ec.3.25 se obtiene que:

$$[\sigma] = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

$$110 \times 10^6 = \sqrt{\left(\frac{15791}{d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{2902.73}{d^3}\right)^2}$$

$$d = \sqrt[3]{1.52 \times 10^{-4}}$$

$$d = 53.3 \text{ mm}$$

- ❖ Por lo tanto para el diseño del eje motriz se utilizara un eje de 2 1/4" de diámetro.

3.12 TRANSMISIÓN DE POTENCIA POR ENGRANAJES RECTOS

Definición de engranes

Se denomina engrane o ruedas dentadas al mecanismo utilizado para transmitir potencia de un componente a otro dentro de una máquina.

Utilidad

- ❖ Permite transmitir un movimiento giratorio entre ejes.
- ❖ Los ejes pueden ser paralelos, coincidentes o cruzados.
- ❖ Puede modificar las características de velocidad y sentido de giro.

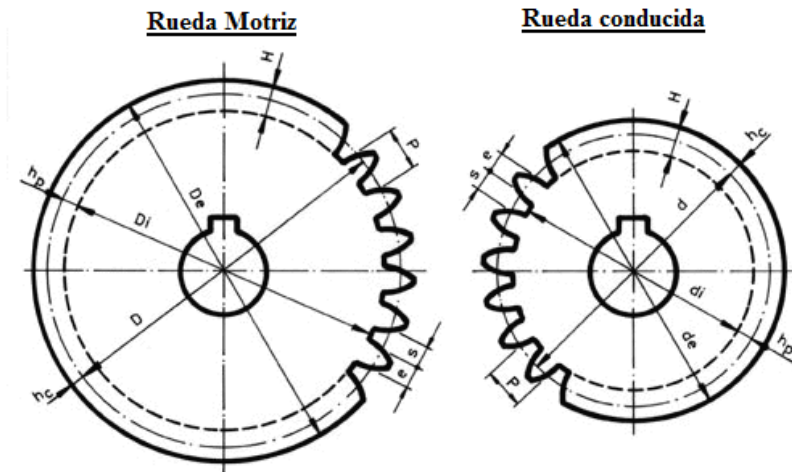


Figura 3.16 Engranajes rectos.

Fuente: www.engranajes.com

La fórmula para determinar el diámetro del círculo primitivo es: el módulo multiplicado por el número de dientes:

$$D_p = M \times N \quad \text{Ec.3.27}$$

$$M = \frac{P}{3.1416} = \frac{D_e}{N+2} \quad \text{Ec.3.28}$$

Donde:

D_p = Diámetro primitivo

M = Módulo

N = Número de dientes

P = Paso entre dientes

D_e = Diámetro exterior

3.12.1 DATOS DE ENGRANES A UTILIZAR

3.12.1.1 RUEDA MOTRIZ Y RUEDA CONDUcida

Los engranajes pueden tener infinidad de tamaños, y se precisa definir una unidad de medida; la manera más simple está caracterizada por el paso y número de dientes.

Con estos datos de un par de engranajes se puede determinar el diámetro primitivo, diámetro exterior y el módulo para el tallado de los mismos.

- ❖ $N_1 = 132$ dientes.
- ❖ $N_2 = 13$ dientes.
- ❖ $P = 7\text{mm}$ (Paso).

Por lo tanto reemplazando estos valores en la ecuación Ec.3.28 se obtiene el módulo para el par de engranajes:

$$M = \frac{P}{3.1416}$$

$$M = \frac{7}{3.1416}$$

$$M = 2.2$$

Al obtener el módulo se puede tener el diámetro exterior y diámetro primitivo de cada engranaje con la utilización de las ecuaciones Ec.3.27 y Ec.3.28.

❖ Para la rueda motriz $Z_1 = 132$ dientes se tiene que:

$$D_p = M \times N$$

$$D_p = (2.2) \times (132)$$

$$D_p = 290.4 \text{ mm}$$

$$M = \frac{D_e}{N+2}$$

$$D_e = M \times (N + 2)$$

$$D_e = (2.2) \times (132 + 2)$$

$$D_e = 294.8 \text{ mm}$$

❖ Para la rueda conducida $Z_2 = 13$ dientes se tiene que:

$$D_p = M \times N$$

$$D_p = (2.2) \times (13)$$

$$D_p = 28.6 \text{ mm}$$

$$M = \frac{D_e}{N+2}$$

$$D_e = M \times (N + 2)$$

$$D_e = (2.2) \times (13 + 2)$$

$$D_e = 33 \text{ mm}$$

3.12.2 CÁLCULO DE RELACIÓN DE TRANSMISIÓN POR ENGRANAJES RECTOS

$$i = \frac{Z_1}{Z_2} \quad \text{Ec.3.29}$$

Donde:

i = relación de transmisión

Z_1 = números de dientes de la rueda motriz

Z_2 = número de dientes de la rueda conducida

$$i = \frac{Z_1}{Z_2}$$

$$i = \frac{132}{13}$$

$$i = 10$$

- ❖ La relación de transmisión es de 1 a 10, es decir mientras la rueda motriz gira una vuelta la rueda conducida girara 10 vueltas.

3.13 DISEÑO DE ENGRANAJES POR DESGASTE SUPERFICIAL

El área de la mecánica de contacto se ocupa del análisis de los cuerpos elásticos, visco elástico o plástico que se encuentran en contacto estático o dinámico. La mecánica de contacto es una disciplina fundamental dentro de la ingeniería para el diseño de sistemas técnicos basados en la seguridad y el ahorro de energía.

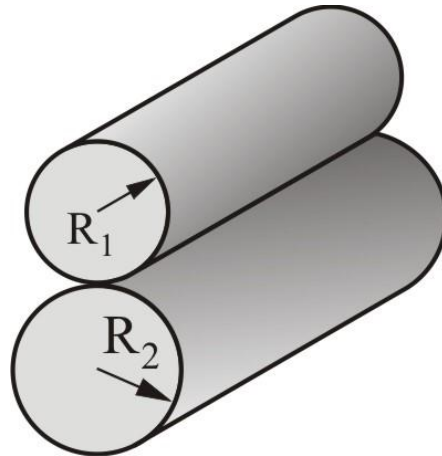


Figura 3.17 Contacto entre dos cilindros con ejes paralelos.

Fuente: www.engranajes.com

Los principios de la mecánica de transmisión de potencia pueden ser aplicables en áreas como el contacto rueda-carril, mecanismos de acoplamiento, embragues, sistemas de frenos, neumáticos y rodamientos deslizantes, motores de combustión, articulaciones, juntas, remodelaciones, estudio de materiales, soldadura por ultrasonidos, contactos eléctricos y muchos otros. Los desafíos actuales en este campo incluyen desde la verificación de resistencia entre elementos de contacto y la influencia de la lubricación y el diseño de material en la fricción y el desgaste.

3.13.1 TEORÍA DE HERTZ

El desgaste es el daño de la superficie por remoción de material de una o ambas superficies sólidas en movimiento relativo.

Es un proceso en el cual las capas superficiales de un sólido se rompen o se desprenden de la superficie. Al igual que la fricción, el desgaste no es solamente una propiedad del material, es una respuesta integral del sistema.

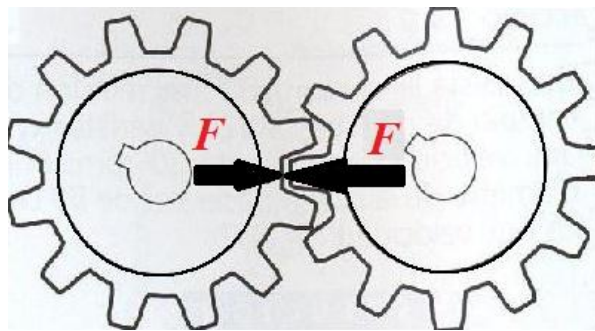


Figura 3.18 Fuerza tangencial en engranajes rectos.

Fuente: www.engranajes.com

El diseño de engranajes por desgaste superficial debe cumplir que:

$$\sigma_c \leq S_c \quad \text{Ec.3.30}$$

Donde:

σ_c = Esfuerzo de compresión

S_c = Resistencia al desgaste superficial

Tomando en cuenta que el esfuerzo de compresión viene dado por la siguiente expresión:

$$\sigma_c = C_p \cdot \sqrt{\frac{Wt \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)}{C_v \cdot L \cdot \cos \phi}} \quad \text{Ec.3.31}$$

Donde:

C_p = Esfuerzo de compresión

Wt = Fuerza tangencial

L = Ancho de la cara de la rueda dentada

ϕ = Ángulo de presión (20 grados)

r_1 = Radio del piñón

r_2 = Radio de la rueda

C_v = Factor de velocidad

Sabiendo que:

$$Wt = \frac{Pot}{Velocidad} \quad \text{Ec.3.32}$$

$$Velocidad = n \cdot r \quad \text{Ec.3.33}$$

Donde:

n = Número de revoluciones de la rueda

r = Radio de la rueda

Además:

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot \left[\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right]}} \quad \text{Ec.3.34}$$

Donde:

ν_1, ν_2 = Módulo de Poisson

E_1, E_2 = Módulo de Elasticidad

Además:

$$r_1 = \frac{d_1 \cdot \text{sen} \theta}{2} \quad \text{Ec.3.35}$$

$$r_2 = \frac{d_2 \cdot \text{sen} \theta}{2} \quad \text{Ec.3.36}$$

3.13.2 CÁLCULO DEL ESFUERZO DE COMPRESIÓN EN LOS ENGRANAJES

❖ Para la rueda de 132 dientes se tiene los siguientes datos:

Hierro Fundido ASTM – 30

$$E_I = 14.5 \text{ E } 6 \text{ PSI}$$

$$V_I = 0,211$$

$$d_I = 9.44 \text{ plg} = 0.24 \text{ m}$$

$$\phi = 20 \text{ grados}$$

$$Pot = 0.88 \text{ watts}$$

$$r_I = 0.041 \text{ m} = 1.61 \text{ plg}$$

$$L = 0.025 \text{ m} = 1 \text{ plg}$$

$$Velocidad = n \cdot r \quad \text{Ec.3.37}$$

$$Velocidad = (145.43 \text{ rpm}) (0.24 \text{ m}) \times \frac{1 \text{ min}}{3600 \text{ s}}$$

$$Velocidad = 9.7 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Reemplazando la potencia y la velocidad en la ecuación Ec.3.32 se tiene que:

$$Wt = \frac{0.88 \text{ watts}}{9.7 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$Wt = 91.41 \text{ N}$$

❖ Para la rueda de 13 dientes se tiene los siguientes datos:

Hierro Fundido ASTM – 30

$$E_I = 14.5 \text{ E } 6 \text{ PSI}$$

$$V_I = 0,211$$

$$d_I = 1.12 \text{ plg}$$

$$\phi = 20 \text{ grados}$$

$$r_2 = 4.86 \times 10^{-3} \text{ m} = 0.19 \text{ plg}$$

$$Cv = 0.656$$

Con todos los datos se puede calcular el esfuerzo de compresión de los engranajes sustituyendo en la ecuación Ec.3.34

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot \left[\frac{1 - 0.211^2}{14.5 \times 10^6} + \frac{1 - 0.211^2}{14.5 \times 10^6} \right]}}$$

$$C_p = 1558.8 \text{ PSI}$$

Con el valor de C_p se reemplaza en la ecuación Ec.3.31.

$$\sigma_c = 1558.8 \times \sqrt{\frac{91.41 \left(\frac{1}{1.61} + \frac{1}{0.19} \right)}{(0.656)(1) \cos 20}}$$

$$\sigma_c = 46045.7 \text{ PSI} = 46.04 \text{ KSI}$$

Sabiendo que para el diseño de engranajes por desgaste superficial se debe cumplir que:

$$\sigma_c \leq S_c$$

Donde:

$S_c = 64.32 \text{ KSI}$ para un material ASTM – 30 (Hierro fundido)

- ❖ Por lo tanto el esfuerzo de compresión entre los engranajes es de 46.04 KSI y es menor que la resistencia al desgaste superficial del material ASTM - 30 que es de 64.32 KSI; por lo tanto cumple con la regla de diseño.

3.14 MOMENTOS DE INERCIA DE LOS ELEMENTOS

La mayoría de las partes que componen el sistema de transmisión de potencia son cilindros huecos y cilindros macizos.

3.14.1 INERCIA DE UN CILINDRO MACIZO²⁸

La inercia está dada por la ecuación Ec.3.33

$$I = \frac{m \cdot d^2}{8} \quad \text{Ec.3.38}$$

Donde:

I = Inercia del cuerpo (kg.m²)

m = Masa (kg)

d = Diámetro de cilindro macizo (m)

3.14.2 INERCIA DE UN CILINDRO HUECO

La inercia está dada por la ecuación Ec.3.39

$$I = \frac{m}{8} (d_{ext}^2 + d_{int}^2) \quad \text{Ec.3.39}$$

Donde:

d_{ext} = Diámetro exterior del cilindro hueco (m)

d_{int} = Diámetro interior del cilindro hueco (m)

²⁸ Shigley, Richard G Budynas, Diseño en Ingeniería Mecánica, 8va. edición , McGraw-hill, México, Pág. 1013

3.14.3 MASA

La masa está definida por la ecuación Ec.3.40

$$m = V \cdot \rho \quad \text{Ec.3.40}$$

Donde:

V = Volumen del cuerpo (m^3)

ρ = Densidad del cuerpo $(\frac{kg}{m^3})$

3.14.4 VOLUMEN DE UN CILINDRO SOLIDO²⁹

El volumen se encuentra dado por la ecuación Ec.3.41

$$V = \frac{\pi d^2 \times l}{4} \quad \text{Ec.3.41}$$

3.14.5 VOLUMEN DEL CILINDRO HUECO

El volumen se encuentra dado por la ecuación Ec.3.42

$$V = \frac{\pi}{4} (d_{ext}^2 - d_{int}^2) \times l \quad \text{Ec.3.42}$$

²⁹ Shigley, Richard G Budynas, Diseño en Ingeniería Mecánica, 8va. edición , McGraw-Hill, México, Pág. 1011

Donde:

V = Volumen del cilindro hueco (m^3)

l = Longitud del cuerpo (m)

3.14.6 VOLUMEN DE UNA PLACA

El volumen se encuentra definida por:

$$V = \frac{(a+b)}{2} \times l \times e \quad \text{Ec.3.43}$$

Donde:

V = Volumen del cilindro hueco (m^3)

a = Base menor (m)

b = Base mayor (m)

l = Longitud de la placa (m)

e = Espesor (m)

3.14.7 INERCIA DE UNA PLACA

La inercia de un elemento plano está definida por:

$$I = \frac{m l^2}{12} \quad \text{Ec.3.44}$$

Donde:

l = longitud de la placa

3.14.8 DETERMINACION DE ACELERACIÓN ANGULAR

La aceleración angular está definida por:

$$W = W_0 + \alpha t \quad \text{Ec.3.45}$$

Donde:

W_0 = Velocidad inicial

α = Aceleración angular

t = Tiempo

El tiempo promedio para estabilizar la velocidad de una máquina es de 0.25 segundos. De esta manera tomando en cuenta que el sistema parte del reposo $W_0 = 0$, entonces la aceleración angular es igual a:

$$\alpha = \frac{W}{t} \quad \text{Ec.3.46}$$

3.14.9 TORQUE³⁰

La ecuación del torque es la siguiente:

$$T = I \cdot \alpha \quad \text{Ec.3.47}$$

Donde:

T = Torque en N.m

3.14.10 POTENCIA³¹

La expresión para determinar la potencia requerida para poner en movimiento a los elementos móviles del sistema es la siguiente:

$$P = T \times W \quad \text{Ec.3.48}$$

³⁰ R.C. Hibbeler, Mecánica de Materiales , 6ta Edición ,Editorial Pearson, México, 2006, Pàg.197

³¹ R.C. Hibbeler, Mecánica de Materiales , 6ta Edición ,Editorial Pearson, México, 2006, Pàg.197

3.14.11 DETERMINACION DE LA INERCIA DEL EJE MOTRIZ

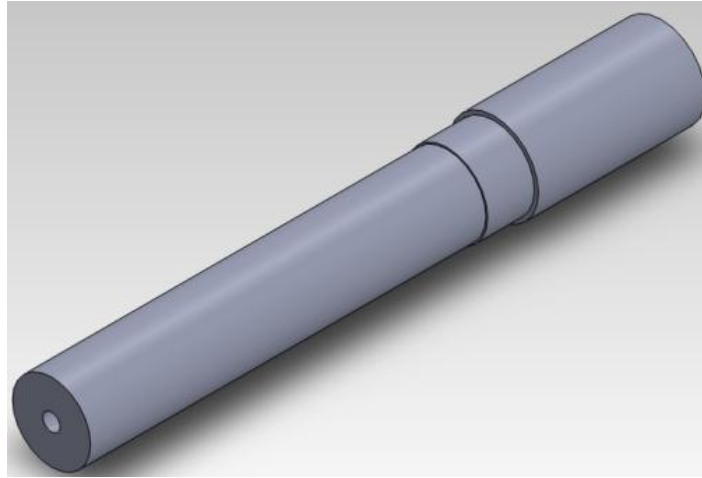


Figura 3.19 Eje Motriz.

Fuente: PROPIA

Datos:

$$\rho = 7850 \frac{kg}{m^3}$$

$$l = 0.35 \text{ m}$$

$$d = 1.5 \text{ plg} = 0.038 \text{ m}$$

Estos valores se reemplazan en la ecuación Ec.3.41

$$V = \frac{\pi d^2 \times l}{4}$$

$$V = \frac{\pi(0.038^2) \times 0.35}{4}$$

El volumen $V = 1.98 \text{ E } -4 \text{ m}^3$, se reemplaza en la ecuación Ec.3.40

$$m = (1.98 \text{ E } -4 \text{ m}^3) \times (7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})$$

$$m = 1.55 \text{ kg}$$

La masa $m = 1.55 \text{ kg}$, se reemplaza en la ecuación Ec.3.38

$$I = \frac{(1.55 \text{ kg}) \times (0.038^2) \text{ m}^2}{8}$$

$$I = 2.8 \text{ E } -4 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

3.14.12 DETERMINACIÓN DE INERCIA DEL PIÑÓN DE 132 DIENTES

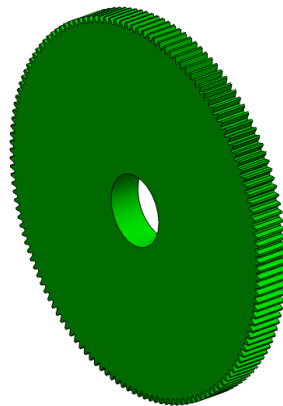


Figura 3.20 Piñón de 132 dientes.

Fuente: PROPIA

Datos:

$$\rho = 7730 \frac{kg}{m^3}$$

$$l = 0.025 \text{ m}$$

$$d_{ext} = 0.28 \text{ m}$$

$$d_{int} = 0.05 \text{ m}$$

Estos valores se reemplazan en la ecuación Ec.3.42

$$V = \frac{\pi}{4}(0.28^2 - 0.05^2) \times 0.025$$

El volumen $V = 1.5 \text{ E} -3 \text{ m}^3$, se reemplaza en la ecuación Ec.3.40

$$m = (1.5 \text{ E} - 3 \text{ m}^3) \times (7730 \frac{kg}{m^3})$$

La masa $m = 11.6 \text{ kg}$, se reemplaza en la ecuación Ec.3.39

$$I = \frac{11.6}{8}(0.28^2 + 0.05^2)$$

$$I = 0.11 \text{ kg.m}^2$$

3.14.13 DETERMINACIÓN DE INERCIA DEL PIÑÓN DE 13 DIENTES

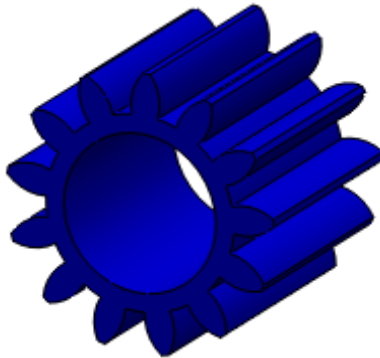


Figura 3.21 Piñón de 13 dientes.

Fuente: PROPIA

Datos:

$$\rho = 7730 \frac{kg}{m^3}$$

$$l = 0.025 \text{ m}$$

$$d_{ext} = 0.033 \text{ m}$$

$$d_{int} = 0.019 \text{ m}$$

Estos valores se reemplazan en la ecuación Ec.3.42

$$V = \frac{\pi}{4}(0.033^2 - 0.019^2) \times 0.025$$

El volumen $V = 1.42 \text{ E} - 5 \text{ m}^3$, se reemplaza en la ecuación Ec.3.40

$$m = (1.42 \text{ E} - 5 \text{ m}^3) \times (7730 \frac{kg}{m^3})$$

La masa $m = 0.11 \text{ kg}$, se reemplaza en la ecuación Ec.3.39

$$I = \frac{0.11}{8} (0.033^2 + 0.019^2)$$

$$I = 1.9 E - 5 \text{ kg.m}^2$$

3.14.14 DETERMINACIÓN DE INERCIA DEL PORTA ASPAS

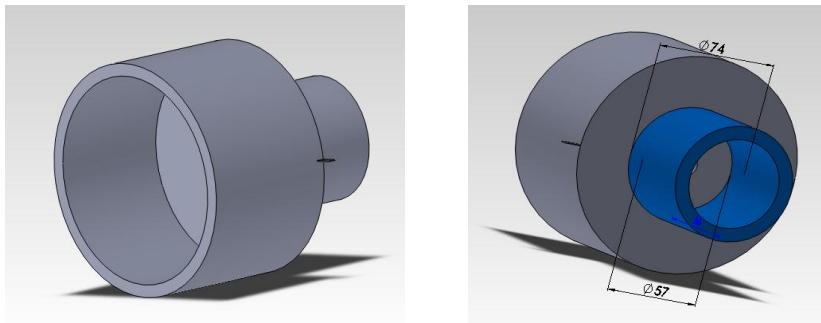


Figura 3.22 Porta aspas.

Fuente: PROPIA

Datos:

$$\rho = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$l_1 = 0.086 \text{ m}$$

$$dext_1 = 0.139 \text{ m}$$

$$dint_1 = 0.124 \text{ m}$$

$$l_2 = 0.066 \text{ m}$$

$$dext_2 = 0.074 \text{ m}$$

$$dint_2 = 0.057 \text{ m}$$

Estos valores se reemplazan en la ecuación Ec.3.42

$$V = \frac{\pi}{4} (0.139^2 - 0.124^2) \times 0.086 + \frac{\pi}{4} (0.074^2 - 0.057^2) \times 0.066$$

El volumen $V = 3.81 \text{ E-4 } m^3$, se reemplaza en la ecuación Ec.3.40

$$m = (3.81 \text{ E-4 } m^3) \times (7850 \frac{kg}{m^3})$$

La masa $m = 3 \text{ kg}$, se reemplaza en la ecuación Ec.3.39

$$I = \frac{3}{8} (0.139^2 + 0.124^2) + \frac{3}{8} (0.074^2 + 0.057^2)$$

$$I = 0.016 \text{ kg} \cdot m^2$$

3.14.15 DETERMINACIÓN DE INERCIA DE LAS ASPAS

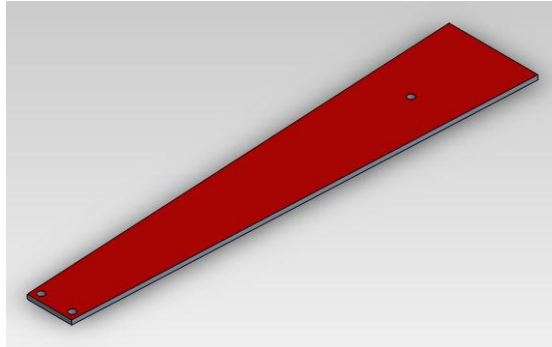


Figura 3.23 Aspa.

Fuente: PROPIA

Datos:

$$\rho = 2698.44 \frac{kg}{m^3}$$

$$l = 1 \text{ m}$$

$$a = 0.1 \text{ m}$$

$$b = 0.2 \text{ m}$$

$$e = 0.003 \text{ m}$$

Estos valores se reemplazan en la ecuación Ec.3.43

$$V = \frac{(0.1 + 0.2)}{2} \times (1) \times (0.003)$$

El volumen $V = 4.5 \text{ E-}4 \text{ m}^3$, se reemplaza en la ecuación Ec.3.40

$$m = (4.5 \text{ E-}4 \text{ m}^3) \times (2698.44 \frac{kg}{m^3})$$

La masa $m = 1.21$ kg, se reemplaza en la ecuación Ec.3.44

$$I = \frac{(1.21 \text{ kg})(1 \text{ m})^2}{12}$$

$$I = 0.1 \text{ kg.m}^2$$

3.14.16 DETERMINACIÓN DE INERCIA DEL EJE DEL ALTERNADOR

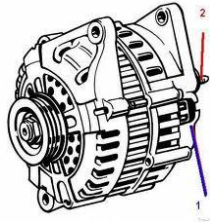


Figura 3.24 Alternador.

Fuente: PROPIA

Datos:

$$\rho = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$l = 0.150 \text{ m}$$

$$d = 0.019 \text{ m}$$

Estos valores se reemplazan en la ecuación Ec.3.41

$$V = \frac{\pi d^2 \times l}{4}$$

$$V = \frac{\pi(0.019^2) \times 0.150}{4}$$

El volumen $V = 4.25 \text{ E } -5 \text{ m}^3$, se reemplaza en la ecuación Ec.3.40

$$m = (4.25 \text{ E } - 5 \text{ m}^3) \times (7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})$$

La masa $m = 0.33 \text{ kg}$, se reemplaza en la ecuación Ec.3.38

$$I = \frac{(0.33 \text{ kg}) \times (0.019^2) \text{ m}^2}{8}$$

$$I = 1.48 \text{ E } - 5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

3.12.17 DETERMINACIÓN DE INERCIA DE LOS RODAMIENTOS

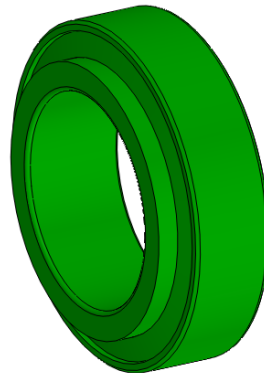


Figura 3.25 Rodamiento de rodillos.

Fuente: PROPIA

Datos:

$$\rho = 7730 \frac{kg}{m^3}$$

$$l = 0.023 \text{ m}$$

$$d_{ext} = 0.082 \text{ m}$$

$$d_{int} = 0.050 \text{ m}$$

Estos valores se reemplazan en la ecuación Ec.3.42

$$V = \frac{\pi}{4}(0.082^2 - 0.050^2) \times 0.023$$

El volumen $V = 6.63 \text{ E} - 5 \text{ m}^3$, se reemplaza en la ecuación Ec.3.40

$$m = (6.63 \text{ E} - 5 \text{ m}^3) \times (7730 \frac{kg}{m^3})$$

La masa $m = 0.51 \text{ kg}$, se reemplaza en la ecuación Ec.3.39

$$I = \frac{0.51}{8}(0.082^2 + 0.050^2)$$

$$I = 5.88 \text{ E} - 4 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

El momento de inercia total que tiene la transmisión principal sería igual a la sumatoria de todas las inercias parciales.

Cantidad	Denominación	Inercia (I)
1	Eje Motriz	$2.8 E - 4$
1	Piñón 132	0.11
1	Piñón 132	$1.9 E - 5$
1	Porta aspas	0.016
9	Aspas	0.9
1	Alternador	$1.48 E -5$
2	Rodamientos	$5.88 E -4$
Total		1.02

Tabla 3.11 Inercia total de la transmisión de potencia.

Fuente: PROPIA

Elaborado por: MATIAS SCHWEITZER

3.14.18 CÁLCULO DE POTENCIA (TRANSMISIÓN PRINCIPAL)

Se reemplaza los valores obtenidos en la ecuación Ec.3.46

$$\alpha = \frac{15.23 \frac{rad}{s}}{0.25 s}$$

$$\alpha = 60.92 \frac{rad}{s^2}$$

El torque se determina mediante la ecuación Ec.3.47

$$T = I \alpha$$

$$T = (1.02 \text{ kg.m}^2) (60.92 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2})$$

$$T = 62.13 \text{ N.m}$$

La potencia está dada por la ecuación Ec.3.48

$$P = T \times W$$

$$P = (62.13 \text{ N.m}) (15.23 \frac{\text{rad}}{\text{s}})$$

$$P = 946.36 \text{ Watts}$$

- ❖ Esta es la potencia necesaria para romper los momentos de inercias de los elementos y empezar un movimiento del sistema de transmisión.

Comparando la potencia calculada anteriormente con el potencial eólico que se va a generar, el sistema va a trabajar de la mejor manera con el diseño realizado de los elementos de la transmisión mecánica del sistema.

3.15 RODAMIENTOS

3.15.1 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Los rodamientos montados proporcionan un medio de sujetar la unidad del rodamiento en forma directa al armazón de la máquina, con tornillos y sin introducirlos al hueco maquinado de una caja. La configuración más común de un rodamiento montado es la caja de chumacera.

3.15.2 RELACIÓN DE CARGA Y DURACIÓN

A pesar de usar aceros de muy alta resistencia, todos los rodamientos tienen una duración finita, y terminaran de fallar debido a la fatiga causada por altos esfuerzos de contacto. Pero es obvio que, mientras menor sea la carga, la duración será mayor, y viceversa. La relación para los cojinetes con contacto de rodadura, entre la carga P y la duración L se determina:

$$\frac{L_2}{L_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^k \quad \text{Ec.3.49}$$

$k = 3.0$ para rodamientos de bolas

$k = 3.33$ para rodamientos de rodillos

3.15.3 DURACIÓN DE DISEÑO

El procedimiento de cálculo para la capacidad de carga dinámica básica se determina de la siguiente expresión:

$$C = Pd * \left(\frac{h * rpm * 60}{10^6}\right)^{\frac{1}{k}} \quad \text{Ec.3.50}$$

Donde:

C = capacidad de carga (N)

Pd = carga dada de diseño (N)

h = duración para rodamientos recomendada. Tabla 3.12

rpm = velocidad de giro en rpm

Aplicación	Duración de diseño, h
Electrodomésticos	1000-2000
Motores de aviación	1000-4000
Automotores	1500-5000
Equipo agrícola	3000-6000
Elevadores, ventiladores, transmisiones de uso múltiple	8000-15000
Motores eléctricos, máquinas industriales en general	20000-30000
Bombas y compresores	40000-60000
Equipo crítico en funcionamiento durante 24 h	100000-200000

Tabla 3.12 Duración recomendada para rodamientos.

Fuente: SHIGLEY³²

- ❖ Con la capacidad de carga, seleccionamos el rodamiento del catálogo.

3.15.4 SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS DEL EJE MOTRIZ

Se realiza el análisis de esfuerzos en el rodamiento que soporta mayores cargas, que en este caso se encuentra en el eje motriz:

³² SHIGLEY, Joseph; MISCHKE, Charles, "Diseño en Ingeniería Mecánica", Sexta edición, McGraw-Hill/ Interamericana editores, Año 2002, México, Pág. 711

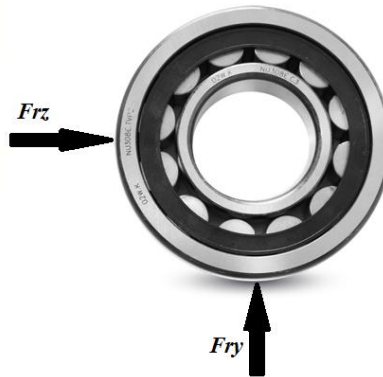


Figura 3.26 Diagrama de fuerzas en el rodamiento.

Donde:

Fry = Reacción Ra del eje motriz

Frz = Fuerza tangencial entre engranajes

Por lo tanto:

$$Fry = 503.95 \text{ N}$$

$$Frz = 91.41 \text{ N}$$

Entonces la fuerza radial aplicada sobre el rodamiento es:

$$F = \sqrt{(Fx^2 + Fy^2)}$$

$$F = 512.17 \text{ N} = Pd$$

La capacidad de carga dinámica básica se obtiene de la ecuación Ec.3.17

$$C = Pd * \left(\frac{h * \text{rpm} * 60}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}}$$

$h = 200000$ según la tabla 3.12

$k = 3.33$ para rodamientos de rodillos

$rpm = 145.43$

$Pd = 512.17$ N

Entonces:

$$C = 512.17 * \left(\frac{200000 * 145.43 * 60}{10^6} \right)^{\frac{1}{3.33}}$$

$C = 1212.02$ N

- ❖ Del catálogo de SKF, seleccionamos el Rodamiento rígido de rodillos LM 104949, el cual soporta una capacidad de carga dinámica radial de 28600 N

3.16 CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE NECESARIA

Para determinar la intensidad de corriente necesaria dentro de las instalaciones debemos tomar en cuenta la cantidad de focos que se van a utilizar y la potencia que van a generar los mismos.

Para este caso las especificaciones de los focos son las siguientes:

- ❖ *Número de focos* = 60
- ❖ *Voltaje* = 12 v
- ❖ *Potencia* = 11 W

$$\mathbf{Potencia\ total = Potencia\ x\ N\acute{u}mero\ de\ focos} \qquad \mathbf{Ec.3.51}$$

$$\mathbf{Potencia\ total = 11\ W\ x\ 60}$$

$$\mathbf{Potencia\ total = 660\ W}$$

Despu3s de haber obtenido la potencia total necesaria se calcula la intensidad de corriente de la siguiente expresi3n:

$$\mathbf{Potencia = Voltaje\ x\ Intensidad} \qquad \mathbf{Ec.3.52}$$

Donde:

$$\mathbf{Potencia = 660\ W}$$

$$\mathbf{Voltaje = 12\ v}$$

Entonces se despeja la Intensidad de la ecuaci3n Ec.3.52:

$$\mathbf{Intensidad = \frac{Potencia}{Voltaje}}$$

$$\mathbf{Intensidad = \frac{660\ W}{12v}}$$

$$\mathbf{Intensidad = 55\ amp}$$

Al obtener la Intensidad de corriente necesaria se puede tener en cuenta la cantidad de bater3as para el sistema, que para este caso son dos bater3as de 105 amperios, las cuales tienen un rendimiento del 80%, es decir solo se obtendr3 84 amperios por cada bater3a.

3.16.1 CONEXIÓN DE LOS ACUMULADORES O BATERIAS

Existen tres formas de conexión de los acumuladores o baterías, en serie, en paralelo y conexión mixta; para este caso se utilizara una conexión en paralelo puesto que asociar en paralelo significa vincular eléctricamente bornes de la misma polaridad para así aumentar la intensidad de corriente y se mantenga un mismo voltaje.

La asociación en paralelo se utiliza cuando no es posible obtener una batería de la capacidad deseada o a veces, dicha capacidad existe en un determinado modelo o tipo constructivo y resulta más económico utilizar una asociación en paralelo de otros modelos más baratos.

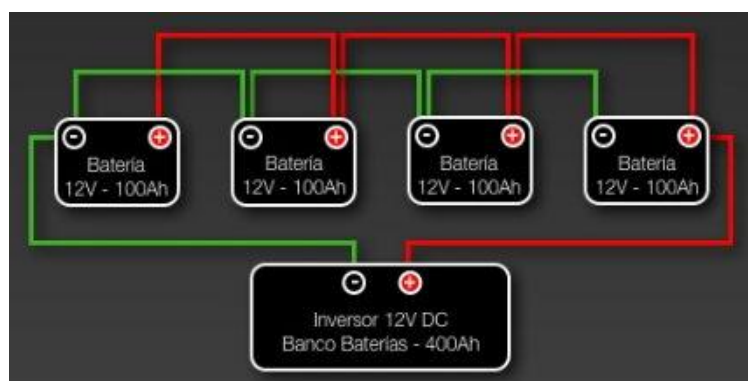


Figura 3.27 Conexión en Paralelo.

Fuente: www.energifotovoltaica.com

Al tener en el sistema dos acumuladores o baterías de 105 amperios pero con un rendimiento del 80%, solo se obtendrá 84 amperios por cada batería. Con esto podemos obtener la intensidad de corriente total de las dos baterías que en este caso estarán conectadas en paralelo, es decir su voltaje se mantiene pero la intensidad se mantiene.

$$I_T = I_1 + I_2 \quad \text{Ec.3.53}$$

$$I_T = (84 + 84) \text{ am}$$

$$I_T = 168 \text{ amp}$$

3.17 EMPLAZAMIENTO DE LA TORRE³³

Idealmente, la turbina y la torre deben estar apartadas de cualquier edificio u obstáculo. Si hay una colina cerca, ahí se deben poner, aún cuando esto requiera un cable más largo.

Es también importante que los anclajes y los cables tensores estén alejados de caminos, marcas de vehículos o caminantes. Si hay alguna granja de animales en las proximidades, las torres con tensores y sus anclajes deben ser protegidas por cercas u otros medios.

Si se está hablando de una torre de celosías es necesario que los anclajes se los hagan con hormigón para una mejor sujeción de toda la estructura.

3.18 MEDIDAS DE SEGURIDAD³⁴

De las aproximadamente 20 personas fallecidas trabajando con turbinas eólicas en todo el mundo en los últimos 20 años, dos lo fueron mientras operaban con pequeñas turbinas, ambos se cayeron de la torre, es por esta razón que se han dado numerosas situaciones de emergencia.

Es por esta razón que se debe tener en cuenta diferentes medidas de seguridad en los diferentes elementos que concierne la generación de energía eólica como son:

3.18.1 BATERIAS

- ❖ Siempre tener extrema cautela cuando se trabaja cerca de las baterías. Aplicar las mismas precauciones que se usaría trabajando cerca de una batería de automóvil.
- ❖ Usar gafas de protección para resguardarse de una posible proyección del ácido de la batería.

³³ PAUL GIPE, Energía eólica práctica, Primera edición 2000, España, Pág. 104

³⁴ PAUL GIPE, Energía eólica práctica, Primera edición 2000, España, Pág. 107

- ❖ Evitar la caída de herramientas de metal en los bornes de las baterías, esto es un buen consejo para evitar un desastre.
- ❖ Prever que las baterías estén adecuadamente ventiladas para impedir la concentración del explosivo gas de hidrógeno.
- ❖ Evitar cualquier fuente de chispa o llama alrededor de las mismas. Al igual que cuando se trabaja cerca de máquinas en rotación.
- ❖ No usar anillos o collares cuando lo haga cerca de baterías.

3.18.2 TORRE

Trabajar en las turbinas eólicas o alrededor de ellas y sus torres tienen dos tipos de riesgos.

- ❖ Uno es caerse de la torre y otro es ser golpeado por algo que cae de ella.
- ❖ Las torres con tensores deben estar separadas de los edificios habitados y de las redes de conducción eléctrica por una distancia mínima equivalente al doble de la longitud de la torre.

3.18.3 ELECTRICIDAD

Los alternadores de imanes permanentes producen voltaje mientras el rotor está rotando, inclusive cuando están desconectados de la carga o el panel de control.

Antes de poner en servicio el panel de control es necesario desconectar el suministro de potencia desde la turbina (instalar un interruptor de desconexión mediante fusible que vendrá disponible con este fin).

3.18.4 MANTENIMIENTO

Dentro de las tareas de mantenimiento se deberá distinguir entre el mantenimiento preventivo o planificado, el cual se realiza en intervalos determinados por el fabricante y la experiencia

del usuario, y el mantenimiento correctivo o no planeado, que se realiza como respuesta a problemas descubiertos por el operador, ya sea a través del sistema de monitorización o visualmente.

Incluido en el mantenimiento preventivo estará el confeccionar un manual que indique cuales son las tareas a realizar para que el funcionamiento del aerogenerador sea el adecuado y la periodicidad con que deben efectuarse.

Los trabajos de este tipo más frecuentes pueden observarse en la tabla 3.13.

<i>Frecuencia</i>	<i>Horas hombre</i>	<i>Actividad</i>	<i>Material</i>
Con 100 horas de funcionamiento	16	Inspección y ajuste de tuercas, inspección de las palas, caja, generador, conexiones	Lubricante
Cada 6 meses	8	Inspección de las palas, caja, generador, conexiones	Lubricante, fluido hidráulico, aceite
Cada 12 meses	16	Inspección y ajuste de tuercas, inspección de las palas, acumuladores eléctricos, ejes, caja, generador, conexiones.	Lubricante, fluido hidráulico
Cada 5 años	32	Inspección y ajuste general	Palas, pernos, pintura

Tabla 3.13 Tareas más usuales existentes en mantenimiento preventivo.

Fuente: M. CASTRO GIL³⁵

³⁵ M.CASTRO GIL, Monografías Técnicas de energías renovables, Tercera edición 2011, España, Pág. 47

El mantenimiento correctivo se representa mediante una tabla que indique el porcentaje de ocurrencias de fallo y el número de horas/hombre necesarias para solucionarlo, para cada uno de los subsistemas que conforman el aerogenerador. Tabla 3.14.

<i>Subsistema</i>	<i>% de ocurrencia de fallo</i>	<i>% de horas/hombre</i>
Sensores	23	12
Equipo eléctrico	21	10
Sistema de orientación	17	30
Tren de potencia	12	26
Sistema de control	10	9
Rotor	8	4
Otros equipos	6	5
Torre	3	4

Tabla 3.14 Ocurrencias de fallo durante la operación de los aerogeneradores.

Fuente: M. CASTRO GIL³⁶

3.19 GENERADOR

Para la transformación de la energía cinética producida por el viento a energía eléctrica se la realizará mediante un alternador de vehículo, el cual por medio de engranajes transmitirá el movimiento de las palas al generador.

3.19.1 DEFINICIÓN DE ALTERNADOR³⁷

Un alternador es una máquina eléctrica, capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica, generando una corriente alterna mediante inducción electromagnética.

³⁶ M.CASTRO GIL, Monografías Técnicas de energías renovables, Tercera edición 2011, España, Pág. 47

³⁷ M.CASTRO GIL, Monografías Técnicas de energías renovables, Tercera edición 2011, España, Pág. 25

Un alternador consta de dos partes fundamentales, el inductor que es el que crea el campo magnético y el inducido que es el conductor atravesado por las líneas de fuerza de dicho campo magnético.

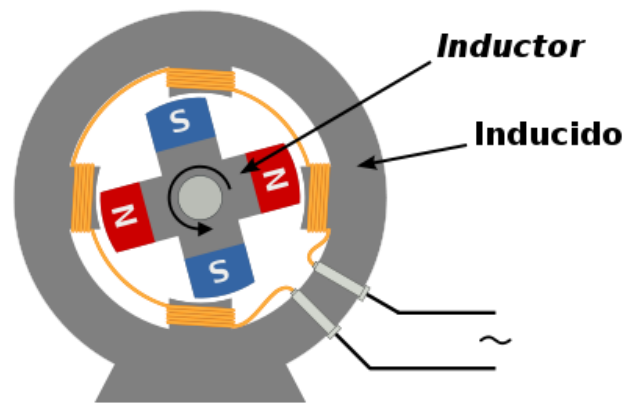


Figura 3.28 Disposición de elementos en un alternador.

Fuente: M. CASTRO GIL³⁸

INDUCTOR

El rotor, que en estas máquinas coincide con el inductor, es el elemento giratorio del alternador, que recibe la fuerza mecánica de rotación.

INDUCIDO

En el inducido o estator, se encuentran una serie de pares de polos distribuidos de modo alterno y, en este caso, formados por bobinado en torno a un núcleo de material ferro magnético de característica blanda, normalmente hierro dulce.

La rotación del inductor hace que su campo magnético, formado por imanes fijos, se haga variable en el tiempo, y el paso de este campo variable por los polos del inducido genera en él una corriente alterna que se recoge en los terminales de la máquina.

³⁸ M.CASTRO GIL, Monografías Técnicas de energías renovables, Tercera edición 2011, España, Pág. 26

3.19.2 CARACTERISTICAS GENERALES DEL ALTERNADOR A UTILIZAR³⁹

MARCA	CODIGO
BOSCH	39105. ALT – 2062
ALTERNATOR TEST SEQUENCE	RESULTS
Máximum output power	2134 Watts
Maximum output under full load	165 Amp
Voltage regulator set point	14.7 Volts
Turn on speed less than	1200 RPM
Voltage regulator load response control	1.5 Sec
Leakage current tested 12 volts	0.62 mAmp
Ripple current 2500 RPM	42 Amp
Pulley ratio	1.17
Lamp terminal output voltage	14.79 Volt
Voltage regulator functions test	Within specs
L = indicator lamp circuit	yes

Alternator RPM	1800	2000	3000	4000	5000	6000
Amperage	88	99	135	151	160	165

Tabla 3.15 Datos técnicos del Alternador.

Fuente: BOSCH

Elaborado por: MATIAS SCHWEITZER

³⁹ BOSCH, Datos técnicos del alternador a utilizar.

3.20 ANTECEDENTES DE LOS MECANISMOS DE ORIENTACIÓN EN UN AEROGENERADOR DE EJE HORIZONTAL⁴⁰

Uno de los principales problemas que plantearon los aerogeneradores de eje horizontal fue la necesidad de su orientación, de forma que el viento incidiese perpendicularmente al disco barrido por el rotor, con el fin de obtener la máxima potencia a base de hacer incidir la mayor cantidad posible de masa de aire en movimiento y así obtener la mayor cantidad posible de energía cinética; con este fin, para pequeños aerogeneradores, existen diversos sistemas que permiten la orientación de la máquina, Como:

- ❖ Una cola o veleta que es un método muy eficaz sobre todo en máquinas pequeñas.
- ❖ Un sistema de orientación accionado por rotores auxiliares.

Las *veletas* o *timones* son dispositivos de orientación situados en la prolongación del eje del rotor y tienen por misión orientar la aeroturbina en la dirección del viento.

Están constituidas por una superficie plana metálica o de madera, sobre la que el viento ejerce una presión en el momento en que no están orientadas paralelamente en la dirección del mismo, provocando un par de giro que orienta la máquina.

Si llamamos:

- ❖ **m**, a la distancia entre el centro de gravedad de la placa que conforma la veleta y el eje de giro vertical de la máquina
- ❖ **s**, a la distancia entre el plano barrido por las palas y el eje de giro se debe cumplir que ($m = 10 s$).

⁴⁰ PAUL GIPE, Energía eólica práctica, Primera edición 2000, España, Pág. 46

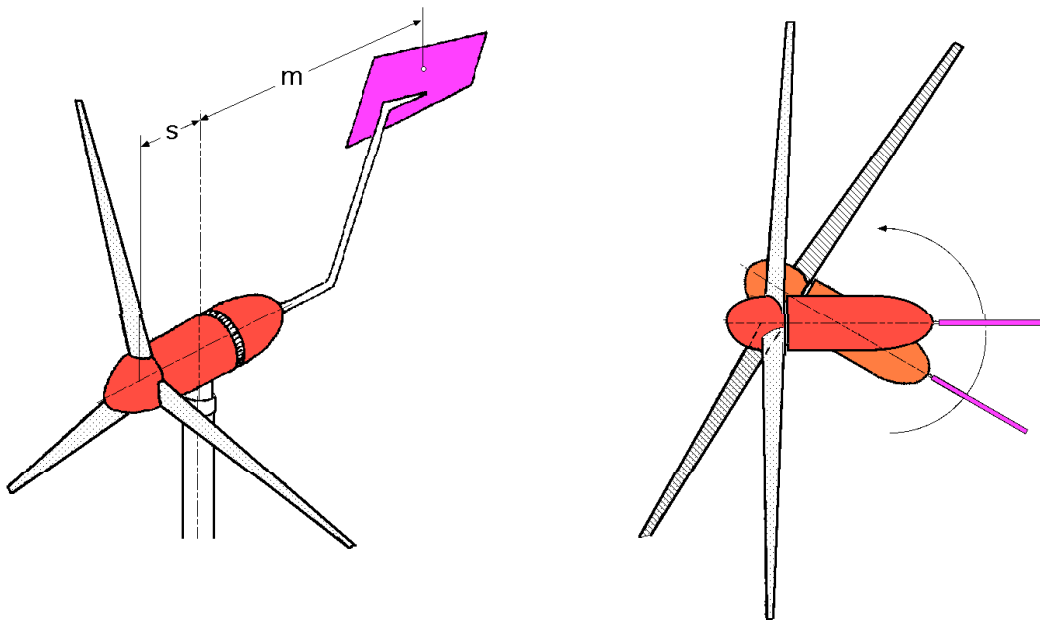


Figura 3.29 Orientación del rotor mediante timón de cola.

Fuente: M. CASTRO GIL⁴¹

3.21 DISPOSITIVO PARA EL ALMACENAMIENTO DE LA ENERGÍA PRODUCIDA

La estación eólica deberá disponer de un medio para el almacenamiento de la energía producida, esto con el fin de abastecimiento en períodos de calma atmosférica. En general el medio más accesible para este propósito son los acumuladores de plomo o baterías de ciclo profundo.

Los acumuladores o baterías ideales para este sistema son las de ciclo profundo ya que su tecnología de gel le permite una excelente capacidad para aportar energía de forma lineal y constante así como una capacidad de carga y de ciclos de carga muy elevado que le confieren

⁴¹ M.CASTRO GIL, Monografías Técnicas de energías renovables, Tercera edición 2011, España, Pág. 26

una vida útil muy superior a cualquier otra batería del mercado en condiciones de consumo elevado.

Durabilidad: para asegurarse una vida útil prolongada de la batería, se recomienda su carga tan pronto como sea posible de forma que el porcentaje de descarga sea el menor posible.

De esta manera, los ciclos de vida media de esta batería son: 100% DOD - 350 ciclos, 75% DOD - 420 ciclos, 50% DOD - 650 ciclos.

Ciclos: se define como ciclo el proceso de descarga y carga de una batería. Especificados como DOD.



Figura 3.30 Baterías de ciclo profundo.

Fuente: www.energiasrenovables.com

3.22 DISPOSITIVO PARA VIGILAR EL ESTADO DE LAS BATERIAS DE ACUMULADORES

A pesar de ser los acumuladores de plomo el medio más barato y fácil de instalar, necesitan una vigilancia muy severa.

Los acumuladores de plomo, son extremadamente sensibles a régimen de descarga y sobrecarga prolongadas. Por lo tanto es indispensable instalar un sistema manual o automático de vigilancia.

Este dispositivo deberá asegurar prioritariamente:

- ❖ El corte de la corriente de carga de la batería cuando está completamente cargada.
- ❖ La conmutación del circuito de utilización hacia la fuente de apoyo, si existe, cuando la batería esté descargada.
- ❖ La protección de los distintos elementos de la instalación mediante fusibles.
- ❖ Los medios para medir el buen funcionamiento de la estación (valor de la corriente de carga, de la tensión dada por aerogenerador, etc.).

3.23 FOCOS DE BAJO VOLTAJE (12V)



Figura 3.31 Foco de LED PHILIPS 10 W - 12 V.

Fuente: PHILIPS⁴²

⁴² <http://www.philips.com>

3.23.1 CARACTERISTICAS

- ❖ Focos LED adecuados para reemplazar fácilmente los focos halógenos dicróicos que utilizan transformador (12V).
- ❖ Disponibles con ángulo de apertura de 24 y 36 grados.
- ❖ Disponibles con temperaturas de color cálida 2700 K y fría 4000 K
- ❖ Muy buena reproducción de color.
- ❖ Rango de temperatura de trabajo -20 C hasta 45 C temperatura ambiente.

3.23.2 APLICACIONES

- ❖ Apropiado para aplicaciones de iluminación interior en luminarias abiertas.
- ❖ Hoteles, restaurantes, bares, cafeterías
- ❖ Vestíbulos, pasillos, huecos de escalera, baños, zonas de recepción.

3.23.3 BENEFICIOS DEL PRODUCTO

- ❖ Larga vida útil.
- ❖ Ahorro de energía del 80 %
- ❖ Buena distribución de la luz
- ❖ No emite radiaciones ultravioleta e infrarroja, baja radiación de calor.
- ❖ Ideal para iluminar objetos sensibles al calor.
- ❖ Carcasa robusta de alta calidad.
- ❖ Resistente a golpes
- ❖ Gran reducción de los costos de mantenimiento

CAPITULO 4

4 PROCESO DE FABRICACIÓN

La fabricación de todos los componentes para el correcto funcionamiento del sistema eólico tanto mecánicos como eléctricos se los realizó utilizando diferentes máquinas, herramientas y procesos de producción, es por esta razón que se detallará a continuación los pasos, procesos y herramientas utilizadas para cada componente del sistema eólico.

4.1 ELABORACIÓN DE PLANOS

Los planos de construcción del sistema eólico se los presenta en el anexo A1 que contienen la ingeniería de detalle que permite la construcción y montaje de todas las piezas que componen el sistema.

4.2 TORRE DE CELOSÍAS

Al haber realizado el estudio de las diferentes torres que se podían utilizar para este sistema en el capítulo 2, se tomó para el diseño una torre de celosías, la cual al ser realizada la simulación con la ayuda del programa SAP 2000 se pudo obtener la distribución correcta de los elementos estructurales tomando en cuenta una carga máxima de 200 kg y a una velocidad del viento extrema de 70 millas/hora, esto con el fin de obtener datos reales que podrían sufrir los elementos que componen la torre.

4.2.1 MATERIALES

Partiendo del diseño estructural que se hizo para la torre, los materiales son los siguientes:

- ❖ Ángulo de Acero A- 36 de 2" x 2" x 1/4".
- ❖ Platina de Acero A – 36 de 1 1/2" x 3/16".
- ❖ Pernos de Acero Grado 5 galvanizados de 1/2" x 1 1/2" con turecas y arandelas de presión.

4.2.2 CONSTRUCCIÓN

Partiendo del diseño y de los planos, se procede a realizar los diferentes cortes y perforaciones en los ángulos de 2 x 2 x 1/4" y platina de 1 1/2" x 3/16", para la sujeción de las celosías con los demás elementos estructurales que componen el diseño de la torre.

4.2.3 FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

- ❖ A las medidas del plano se perfora los ángulos y las platinas, según la distribución de los elementos que componen la estructura.

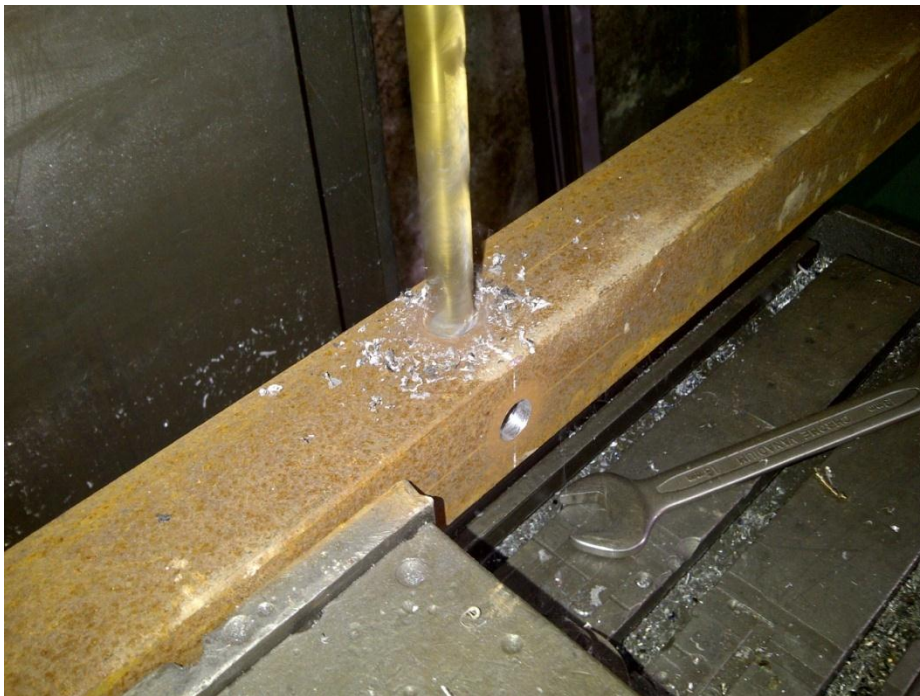


Figura 4.1 Perforación de los ángulos y platinas con una broca de 9/16".

Fuente: PROPIA



Figura 4.2 Perforaciones para el cuadro de montaje del sistema porta aspas.

Fuente: PROPIA

- ❖ Se realiza un proceso de soldadura MIG con los cuatro ángulos perforados que componen el cuadro de montaje del porta aspas.





Figura 4.3 Cuadro de montaje soldado mediante un proceso MIG.

Fuente: PROPIA

- ❖ Ensamble total de todos los elementos ya perforados y cortados para verificar medidas requeridas en el plano.



Figura 4.4 Traslape y sujeción de ángulos.

Fuente: PROPIA



Figura 4.5 Sujeción de ángulo con platina mediante pernos.



Figura 4.6 Ensamble de una cara de la torre.

Fuente: PROPIA

- ❖ Ensamble del tramo estructural de la torre donde estará sujeto el sistema porta aspas.



Figura 4.7 Ensamble del tramo porta aspas.

❖ Ensemble total de la torre.

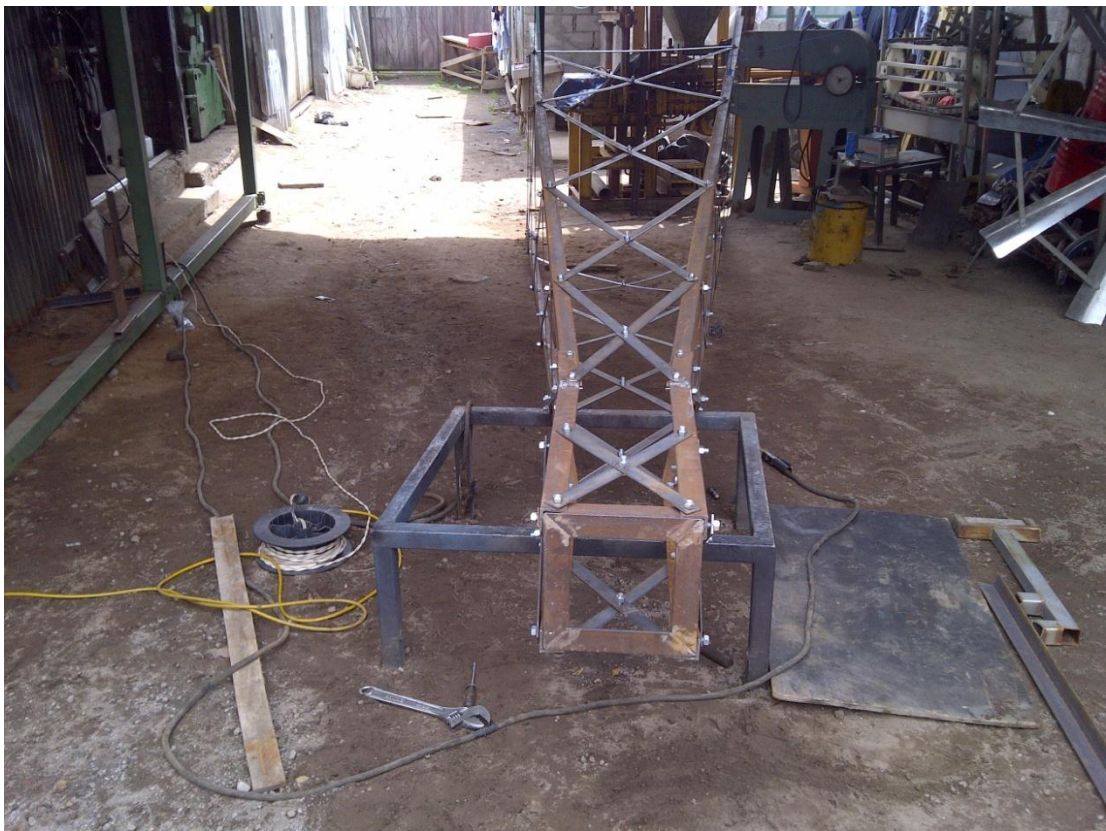


Figura 4.8 Ensemble total de la torre.

4.3 SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

El sistema de transmisión de potencia, de la energía cinética producida por el viento a energía mecánica, se la realizará mediante engranajes los cuales estarán sujetos a varios elementos mecánicos.

Dichos elementos mecánicos serán fabricados según el diseño y planos del anexo A1, utilizando los diversos procesos y manejo de maquinas y herramientas que sean necesarios para la construcción de los mismos.

4.3.1 SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

El sistema de generación eléctrica contiene varios elementos que se detallan a continuación:

- ❖ Eje principal
- ❖ Rodamientos
- ❖ Retenedores
- ❖ Carcasa de sujeción de eje
- ❖ Transmisión de potencia por engranajes
- ❖ Porta aspas
- ❖ Aspas
- ❖ Soporte del generador
- ❖ Porta carbones
- ❖ Cubierta metálica para proteger el sistema
- ❖ Veleta de orientación del viento

4.3.2 EJE PRINCIPAL

El eje principal es de un material SAE 1018, el diseño y medidas se encuentran detalladas en los planos en el anexo A1.

El proceso de mecanizado es realizado con la utilización de las siguientes máquinas y herramientas:

- ❖ Torno
- ❖ Broca de centros
- ❖ Broca 7/16"
- ❖ Machuelo de 1/2" rosca gruesa
- ❖ Calibrador

Con el plano se procede a realizar el cilindrado del eje a las diferentes medidas requeridas para el diseño en el torno.

PRIMER PASO

Se ubica el eje en el torno para realizar una pequeña perforación en una de las caras con una broca de centros.



Figura 4.9 Perforación Broca de centros.

Fuente: PROPIA

SEGUNDO PASO

Se sujeta el eje entre centros para realizar posteriormente el cilindrado a las medidas requeridas en el plano.



Figura 4.10 Cilindrado.

Fuente: PROPIA

TERCER PASO

Con la broca de 7/16" se realiza una perforación para posteriormente utilizar el machuelo de 1/2" rosca gruesa.



Figura 4.11 Perforación y roscado.

Fuente: PROPIA

4.3.3 CARCASA DE SUJECIÓN DE EJE

La carcasa es un eje perforado SAE 1018, el diseño y medidas se encuentran detalladas en los planos en el anexo A1.

El proceso de mecanizado es realizado con la utilización de las siguientes máquinas y herramientas:

- ❖ Torno
- ❖ Barra de interiores

PRIMER PASO

Sujetar el eje en el torno para posteriormente realizar el mecanizado.



Figura 4.12 Sujeción del eje perforado.

Fuente: PROPIA

SEGUNDO PASO

Cilindrado y roscado interno a medidas requeridas en el plano.

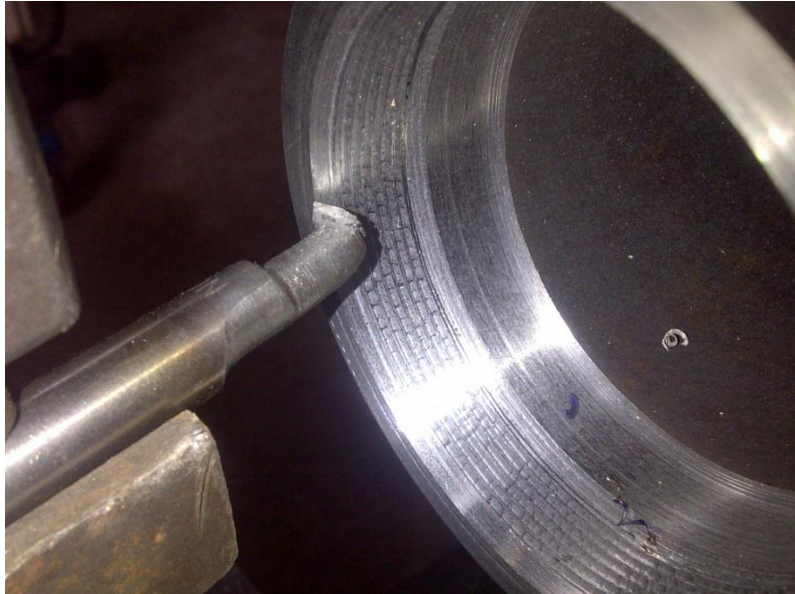


Figura 4.13 Cilindrado y roscado interno.

Fuente: PROPIA

4.3.4 TRANSMISIÓN DE POTENCIA POR ENGRANAJES

Según el diseño en el tercer capítulo para los engranajes rectos, se procede a construirlos y armarlos con los demás elementos como son rodamientos, retenedores y pernos.



Figura 4.14 Transmisión de engranajes, rodamientos y retenedores.

Fuente: PROPIA

4.3.5 PORTA ASPAS

El material del porta aspas son dos ejes perforados de un material SAE 1018, el diseño y medidas se encuentran detallados en los planos en el anexo A1.

El proceso de mecanizado es realizado con la utilización de las siguientes máquinas y herramientas:

- ❖ Torno
- ❖ Barra de interiores
- ❖ Soldadora MIG
- ❖ Calibrador

PRIMER PASO

Se realiza un cilindrado a los dos ejes perforados según las medidas requeridas en el plano y se los suelda mediante un proceso de soldadura MIG.



Figura 4.15 Mecanizado de porta aspas.

Fuente: PROPIA

SEGUNDO PASO

Trazado en toda la circunferencia del eje perforado en nueve partes para posteriormente soldar las placas a 45 grados donde se sujetaran las aspas.



Figura 4.16 Porta aspas.

Fuente: PROPIA

TERCER PASO

Montaje del porta aspas con el eje motriz, carcasa y engranajes.



Figura 4.17 Ensamble del porta aspas.

Fuente: PROPIA

4.3.6 ASPAS

El material de las aspas es de aluminio, el diseño y medidas se encuentran detallados en los planos en el anexo A1.

El proceso de fabricación es realizado con la utilización de las siguientes máquinas y herramientas:

- ❖ Cizalla
- ❖ Fresa Taladro
- ❖ Baroladora
- ❖ Flexómetro
- ❖ Calibrador

PRIMER PASO

De la plancha de aluminio de 1220 x 2440 mm se procede a realizar el trazado según las medidas del plano.



Figura 4.18 Trazado de las aspas.

Fuente: PROPIA

SEGUNDO PASO

Corte de la plancha a las medidas requeridas en los planos.



Figura 4.19 Aspas cortadas.

Fuente: PROPIA

TERCER PASO

Perforación con una broca 5/16" en las placas de aluminio a las medidas requeridas en los planos.

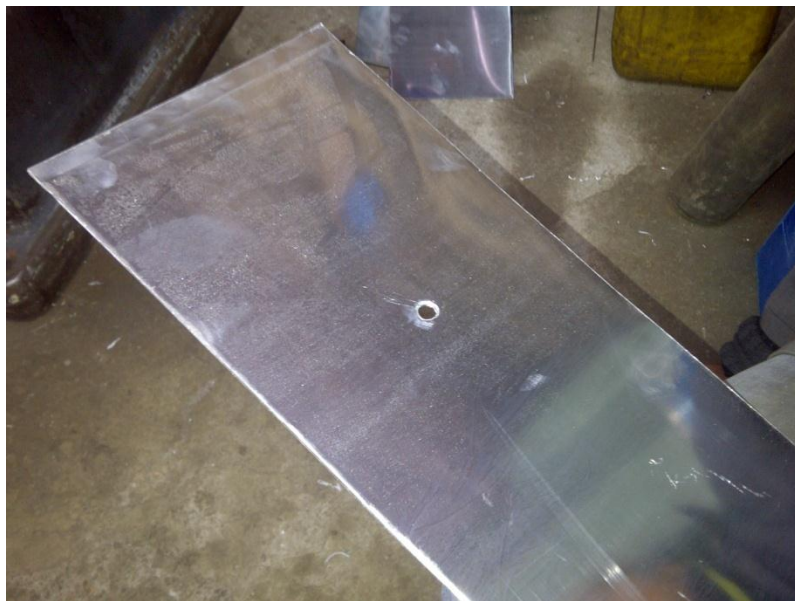


Figura 4.20 Perforaciones en las aspas.

Fuente: PROPIA

CUARTO PASO

Con la máquina baroladora se procede a realizar una curvatura de las aspas, con esto permitirá una mejor incidencia del viento a las aspas.



Figura 4.21 Barolado de las aspas.

Fuente: PROPIA

QUINTO PASO

Montaje de las placas de aluminio al porta espas con pernos de sujeción de acero inoxidable de 5/16"x1 1/4", y separadores de espas de platina de acero inoxidable de 30 x 3 mm.

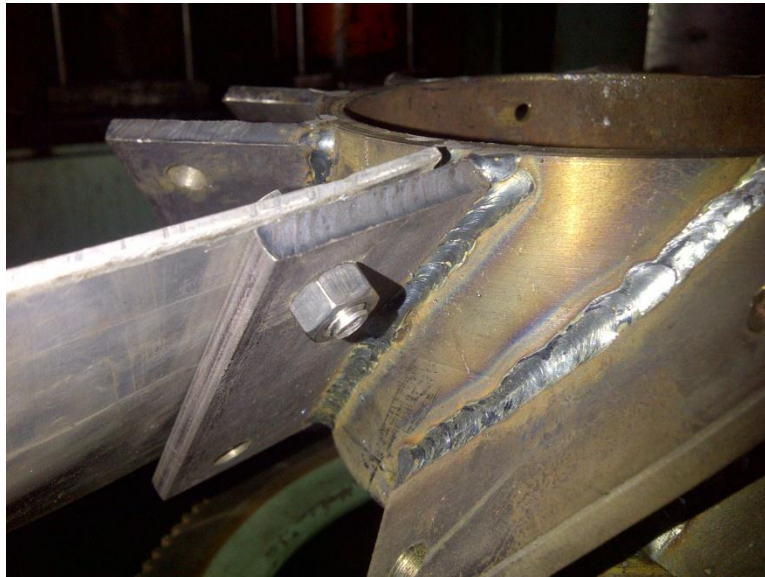




Figura 4.22 Montaje de las aspas.

Fuente: PROPIA

4.3.7 SOPORTE DEL GENERADOR

El soporte del generador se encuentra soldado a la carcasa de sujeción del eje motriz, el cual tiene una regulación para el apriete del generador por medio de un eje.

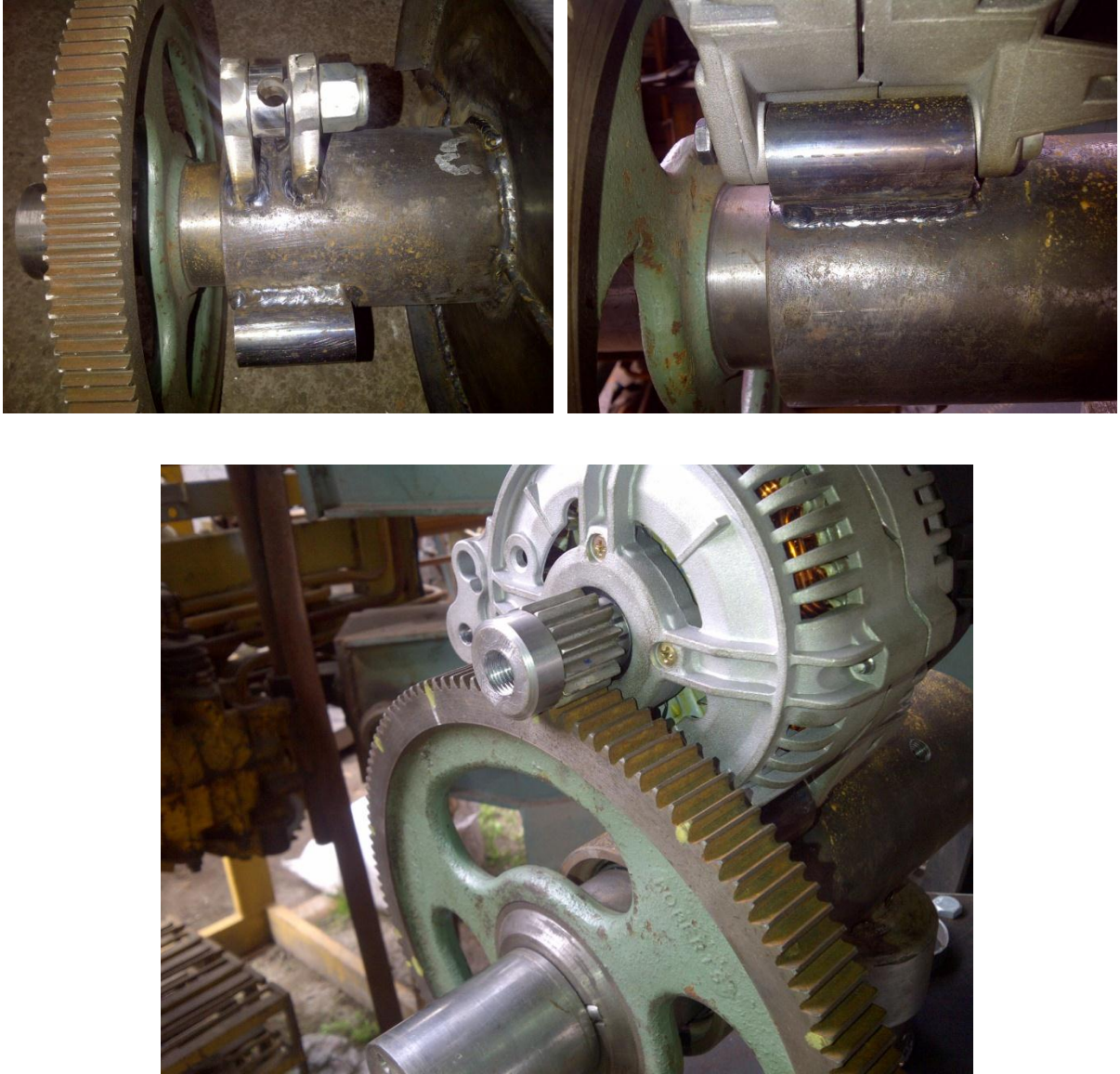


Figura 4.23 Soporte del generador.

Fuente: PROPIA

4.3.8 PORTA CARBONES

Los porta carbones están diseñados con el fin de transmitir la energía eléctrica generada por el alternador de una manera que permita girar los 360 grados sin que los cables se enreden y tenga problemas el sistema, tan solo haciendo contacto en placas de bronce, las cuales estarán conectadas al polo positivo y polo negativo del generador.

Los materiales utilizados para este sistema son los siguientes:

- ❖ Eje AISI 1018
- ❖ Duralon
- ❖ Placas de bronce
- ❖ Rodamientos
- ❖ Retenedores

PRIMER PASO

Cilindrado del eje perforado 460 de 2" de diámetro exterior y 30 mm de diámetro interior a las medidas requeridas en los planos con la utilización del torno.

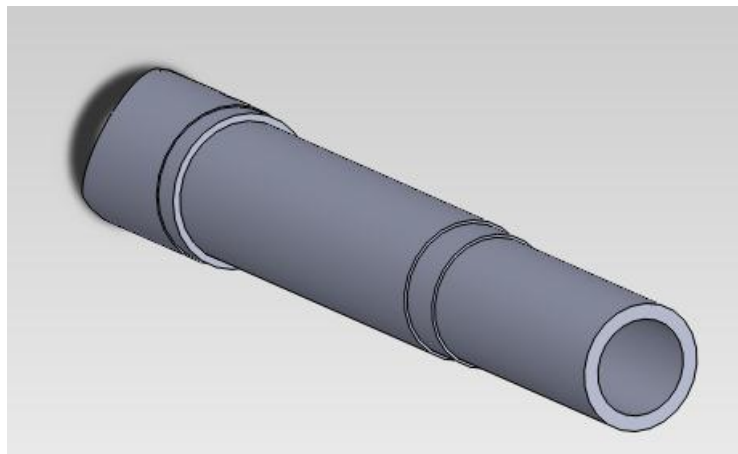


Figura 4.24 Eje porta carbones.

Fuente: SOLIDWORKS

SEGUNDO PASO

Perforación del eje con una broca 7/16" para posteriormente pasar machuelo de 1/2" rosca gruesa. La perforación permitirá el ingreso de los cables que salen del alternador para la carga de los acumuladores.

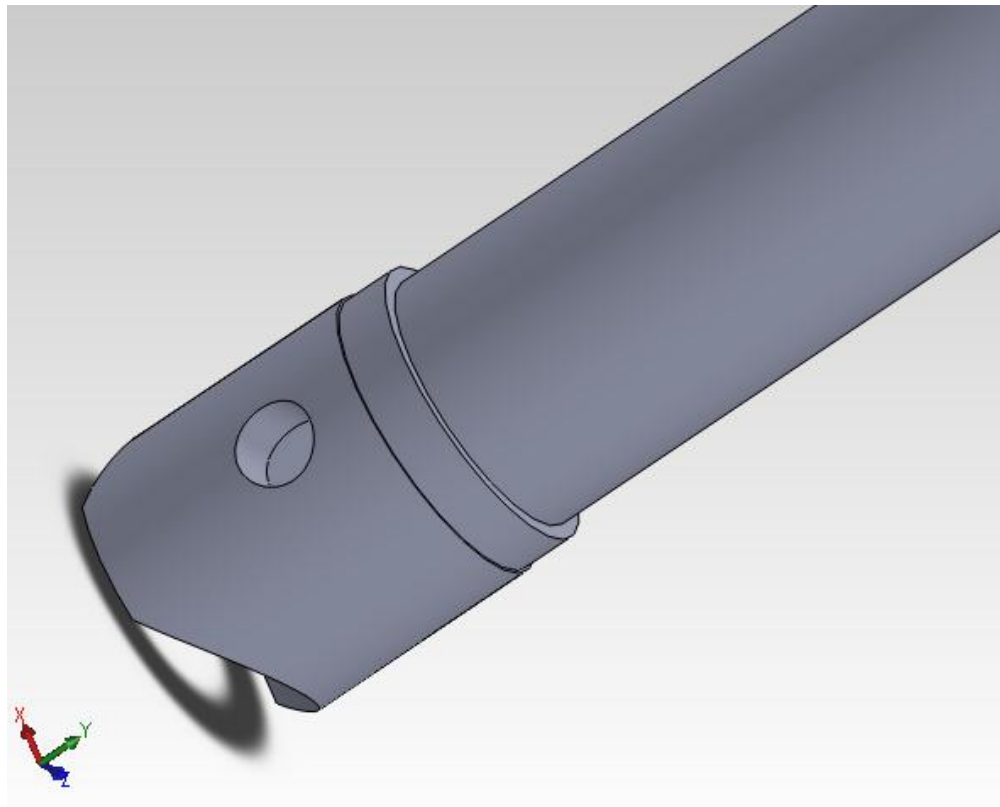


Figura 4.25 Perforación para cables de corriente.

Fuente: SOLIDWORKS

Realizado por: MATIAS SCHWEITZER

TERCER PASO

Fresado uno de los extremos con el fin de obtener una media luna para posteriormente soldar a la carcasa del eje porta aspas.

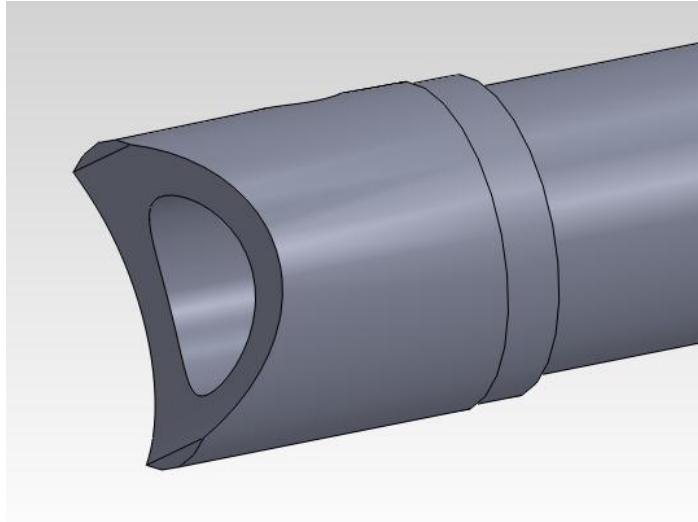


Figura 4.26 Fresado.

Fuente: SOLIDWORKS

Realizado por: MATIAS SCHWEITZER

CUARTO PASO

Cilindrado de la carcasa que sujetara al eje a las medidas requeridas en el plano. Es un eje perforado Acero 460.

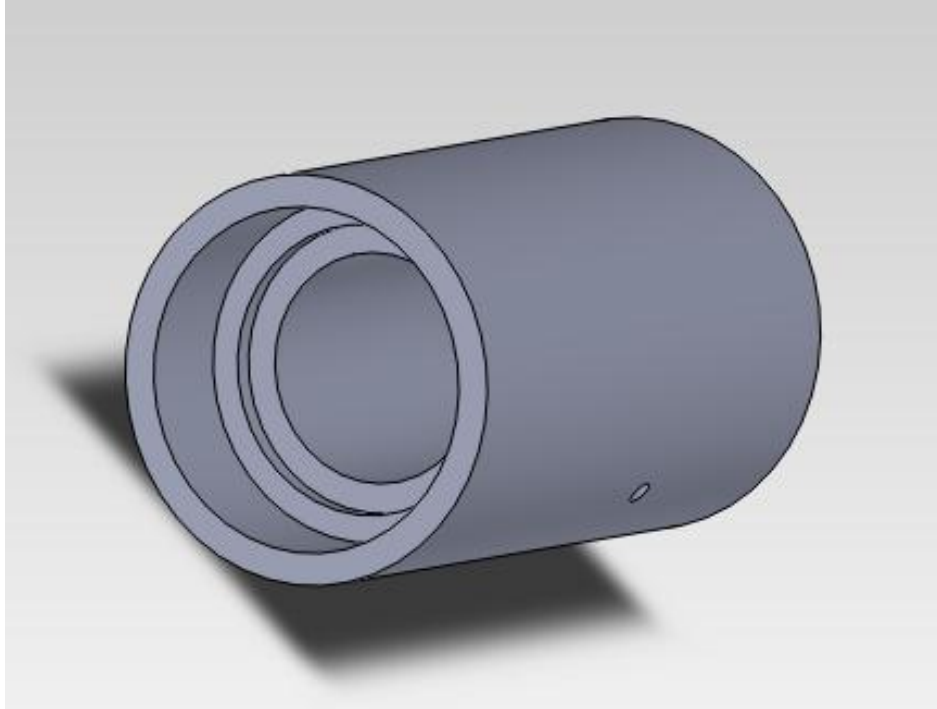


Figura 4.27 Cilindrado.

Fuente: SOLIDWORKS

Realizado por: MATIAS SCHWEITZER

QUINTO PASO

Mecanizado de los discos de bronce y duralón, los cuales serán los que transmitan la corriente a los carbones.



Figura 4.28 Discos de bronce y duralon.

Fuente: PROPIA

SEXTO PASO

Mecanizado de la tuerca a las medidas requeridas en el plano, la cual sujetará el eje porta carbones, rodamientos, retenedores, anillos de bronce y duralón con la carcasa.



Figura 4.29 Tuerca.

Fuente: PROPIA

SÉPTIMO PASO

Soldadura de la carcasa del eje porta carbones a una placa de acero A-36 de 350 x 350 mm, la cual estará sujeta por ocho pernos como base del sistema de generación de potencia.



Figura 4.30 Placa de sujeción a la torre.

Fuente: PROPIA

OCTAVO PASO

Soldadura del eje porta carbones a la carcasa del eje porta aspas.

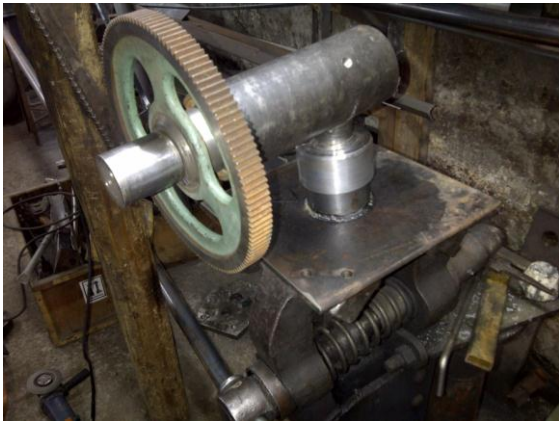


Figura 4.31 Soldadura de porta carbones con porta aspas.

Fuente: PROPIA

4.3.9 CUBIERTA METÁLICA PARA PROTEGER EL SISTEMA

El material de la cubierta metálica es de una plancha de acero A – 36 que está soldada al eje porta carbones, para después sujetar a la carcasa de aluminio que cubre el sistema. Esta cubierta está fabricada con el fin de proteger todos los elementos que componen la generación de potencia, puesto que el clima de la zona y agentes naturales pueden dañar los elementos.

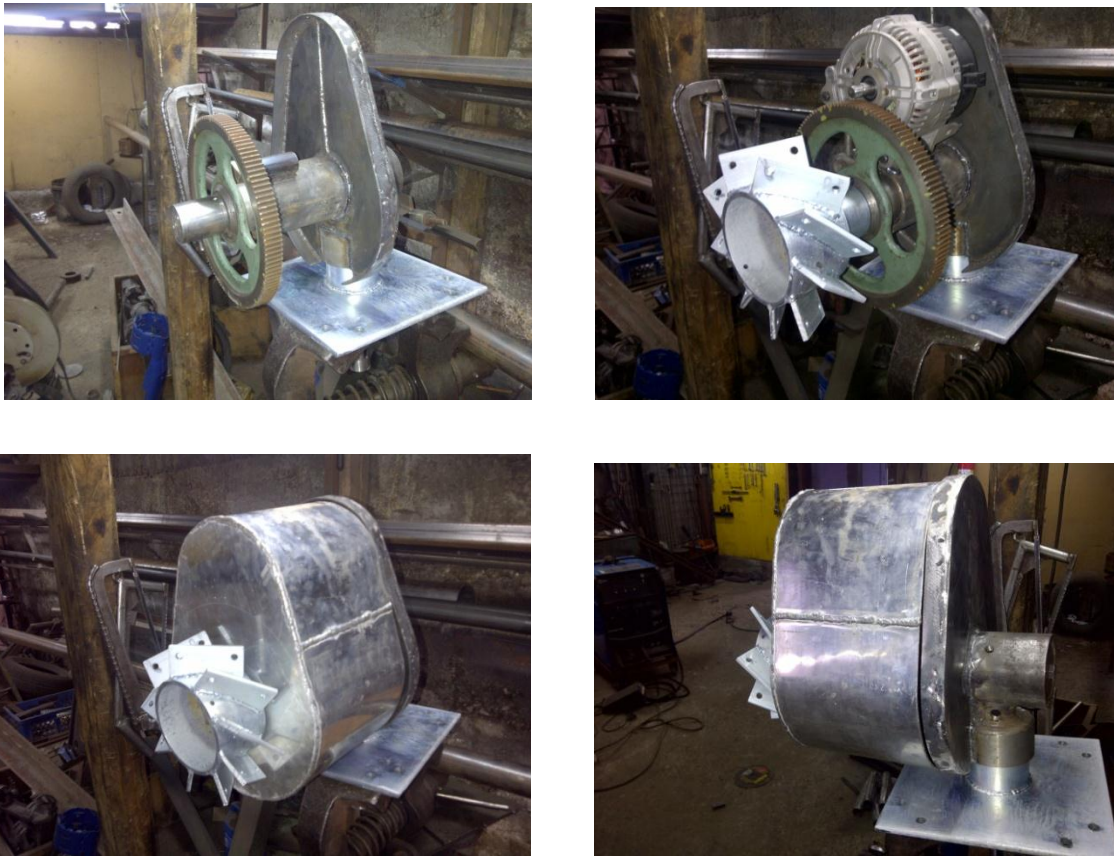


Figura 4.32 Cubierta de protección.

Fuente: PROPIA

4.3.10 VELETA DE ORIENTACIÓN DEL VIENTO

La veleta es fabricada en una plancha de Acero A-36 de 3mm de espesor, la cual tiene la forma triangular como lo indica en el plano 02. Está diseñada con el fin de orientar a las aspas de acuerdo a la dirección del viento.

PRIMER PASO

Trazado y corte a las medidas requeridas en el plano, de una plancha de 1220 x 2440 m.



Figura 4.33 Veleta de orientación.

Fuente: PROPIA

SEGUNDO PASO

Corte de un tubo de sección cuadrada de 50 x 50 x 2mm a una longitud de 2 m, y perforaciones con una broca de 7/16” a las medidas estipuladas en el plano, para la sujeción de la veleta y del sistema porta aspas.



Figura 4.34 Tubo cuadrado sujeto a la veleta.

Fuente: PROPIA

4.4 INSTALACIÓN EN EL HOTEL LA PLAYA LODGE

Al haber construido y probado todas las piezas que conforman el sistema eólico en el taller, se procede a instalarlo en el hotel la playa lodge.

Para la instalación se debe tomar en cuenta elementos de seguridad personal como arneses, casco de protección, antiparras.

4.4.1 INSTALACION DE LA TORRE

Toda la torre se encuentra galvanizada en caliente, este tratamiento superficial se lo realiza para evitar la corrosión de todos los elementos estructurales, además todas las celosías se encuentran numeradas por cada tramo para un mejor montaje sin pérdidas de tiempo. Toda la torre está compuesta de 178 pernos galvanizados de $\frac{1}{2}$ " x $1 \frac{1}{4}$ " con tuercas y arandelas de presión.

PRIMER PASO

Armado completo de la torre tomando en cuenta la numeración de cada tramo.





Figura 4.35 Armado de la torre en el hotel.

Fuente: PROPIA

SEGUNDO PASO

Nivelación del terreno donde se va a montar la torre de celosías, con sus respectivos huecos para la fundición con hormigón en la base de la torre.



Figura 4.36 Nivelación del terreno.

Fuente: PROPIA

TERCER PASO

Montaje de la torre de celosías con la ayuda de gente de la zona y con un tractor para el emplazamiento de la torre.





Figura 4.37 Emplazamiento de la torre.

Fuente: PROPIA

CUARTO PASO

Instalaciones eléctricas para acometidas desde la caja de control hasta las suites, para lo cual se utilizó los siguientes materiales.

- ❖ Alambre galvanizado
- ❖ Cable # 16 para las líneas dentro de las suites
- ❖ Cable # 14 para las acometidas desde la caja de control hasta las suites
- ❖ Cable # 8 desde el generador a las baterías
- ❖ Manguera negra reforzada de 1”
- ❖ Manguera negra reforzada de ½”
- ❖ Cinta aislante
- ❖ Cajas de paso
- ❖ Borneras
- ❖ Boquillas
- ❖ Interruptores
- ❖ Caja metálica de 60 x 40 x 20, para control de mando
- ❖ Barras de bronce
- ❖ Terminales de talón
- ❖ Fusibles de 10 amperios
- ❖ Porta fusibles
- ❖ Focos ahorradores de 12 voltios
- ❖ Capacitor
- ❖ Batería

QUINTO PASO

Instalación del sistema de transmisión, aspas, veleta en la base superior de la torre.









Figura 4.38 Instalación de todo el sistema en la torre.

Fuente: PROPIA

SEXTO PASO

Instalación eléctrica desde el generador hasta el control de mando y verificación de que el sistema cargue y funcione.

En el control de mando se encuentran las conexiones para las diferentes suites y sus exteriores mediante protecciones (fusibles), lo que permite proteger los focos en caso de un corto o un exceso de carga.

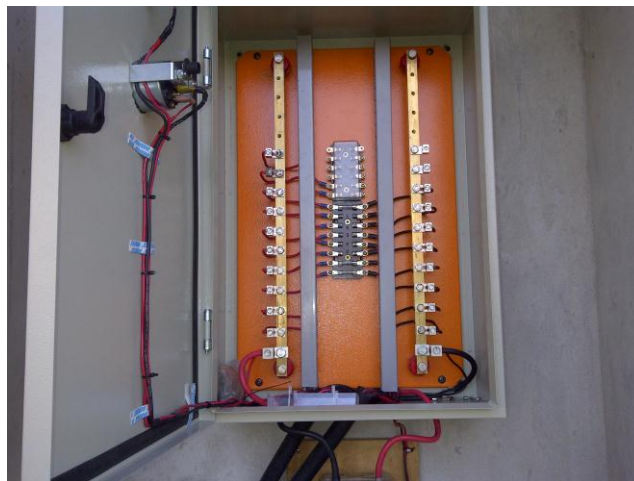


Figura 4.39 Panel de control.

Fuente: PROPIA

CAPITULO 5

5 ANÁLISIS DE COSTOS

En el presente capítulo se plasma el costo de construcción del sistema eólico obtenido a través del estudio, investigación y desarrollo del diseño propuesto, para la generación de energía eléctrica.

5.1 COSTOS DIRECTOS

5.1.1 COSTOS DE MATERIALES E INSUMOS UTILIZADOS

<i>Item</i>	<i>Descripcion</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Material</i>	<i>Valor total</i>
1	Angulo de 2 x 2 x 1/4	7	ASTM A36	249,41
2	Angulo de 1 1/2 x 3/16	4	ASTM A36	80,32
3	Platina de 1 1/2 x 3/16	20	ASTM A36	201
4	Eje 2" x 300 mm	1	SAE 1018	12,1
5	Eje perforado de 100 x 80 x 250	2	SAE 1018	75,66
6	Eje perforado de 50 x 38 x 300	1	SAE 1018	16,89
7	Tubo cuadrado de 2" x 2" x2mm	1	ASTM A36	23,18
8	Plancha de 3mm	1	ASTM A36	66,98
9	Plancha de aluminio 3mm	1	Aluminio	135,21
10	Rodamientos 104948	4		40
11	Retenedores	3		12
12	Engranaje de 132 dientes	1	Hierro fundido	25
13	Engranaje de 13 dientes	1	Hierro fundido	7
14	Placa de aluminio 120x120x15	1	Aluminio	26,38
15	Duralon de 4" x 60	1	Duralon	12,16
16	Duralon de 4" x 40	1	Duralon	6,7
17	Placa de 200 x 60 x 6mm	2	ASTM A36	2,68
18	Placa de 300 x 300 x 10mm	1	ASTM A36	14,4
19	Pernos 1/2" x 1 1/4"	180	Galvanizados	46,37
20	Arandelas de presión	180	Galvanizados	6,05
21	Tuercas	180	Galvanizados	16,13

22	Pernos M12 x 1.5 x 75	4	Acero Inoxidable	4
23	Arandelas de presión	4	Acero Inoxidable	0,4
24	Tuercas	4	Acero Inoxidable	1,2
25	Pernos M8 x 1.25 x 20	20	Acero Inoxidable	7
26	Pernos de 1/2" x 1 1/2"	2	Acero Inoxidable	3
27	Pernos alen de 1/4" x 1/2"	3	Acero Inoxidable	1,2
28	Pernos de 1/4" x 1"	4	Acero Inoxidable	2
29	Pernos de 5/16" x 1"	27	Acero Inoxidable	16,2
30	Arandelas de presión	27	Acero Inoxidable	2
31	Tuercas	27	Acero Inoxidable	5
32	Pernos 5/16" x 1 1/2"	2	Bronce	5
33	Alternador	1	Bosch	193,06
			<i>SUBTOTAL</i>	1315,68

Tabla 5.1 Costos de materiales utilizados.

Fuente: PROPIA

Elaborado por: MATIAS SCHWEITZER

- ❖ El total de los materiales e insumos utilizados es de \$ 1315,68 dólares americanos.

5.1.2 COSTOS DE MANO DE OBRA DIRECTA

<i>Concepto</i>	<i>Sección</i>	<i>Costo x Hora Hombre- Maquina</i>	<i>No. Horas</i>	<i>Costo</i>
1. Estructura	Fresa taladro	4,8	20	96
	Esmerilado	4,8	5	24
2. Eje Motriz	Torno	13,8	3	41,40
3. Carcasa principal	Torno	13,8	3	41,40
4. Porta aspas	Torno	13,8	3	41,40
	Soldadora	7,8	2	15,60
5. Aspas	Cizalla	4,8	2	9,6
	Fresa taladro	4,8	1	4,8
6. Eje porta carbones	Torno	13,8	3	41,40
7. Carcasa porta carbones	Torno	13,8	3	41,40
8. Ensam. carcasa eje porta carbones	Soldadora	7,8	2	15,60
	Esmerilado	4,8	2	9,60
9. Veleta	Cizalla	4,8	1	4,8
	Fresa taladro	4,8	1	4,8
10. Transmisión potencia	Armado	4,8	8	38,40
			<i>SUBTOTAL</i>	430,20

Tabla 5.2 Costos de mano de obra directa.

Fuente: PROPIA

Elaborado por: MATIAS SCHWEITZER

5.2 COSTOS INDIRECTOS

5.2.1 COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACION (INSTALACION)

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Especificaciones</i>	<i>Valor total</i>
1	Caja de paso 10 x 10	6		27,16
2	Caja octogonal	24		14,14
3	Interruptores	35		33,13
4	Cable # 12	360 mts		220,32
5	Cable # 16	860 mts		227,9
6	Cable # 8	80 mts		114,29
7	Manguera anillada 1/4"	152 mts		23,07
8	Manguera anillada 1/2"	10 mts		1,52
9	Manguera anillada 3/4"	4 mts		1,12
10	Manguera negra 1/2"	6 mts		1,02
11	Manguera negra 1"	54 mts		18,8
12	Boquillas	36		36
13	Alambre galvanizado	2 lbs		2,88
14	Canaleta alambre # 16	18 mts		29,16
15	Caja 60 x 60 x 20	1		43,4
16	Abrazaderas plásticas	3 fundas		5,46
17	Tornillos colepatos 1"	2 fundas		2,66
18	Clavos de acero	4 fundas		3,57
19	Fusiblera	1		8
20	Fusibles 10 amperios	10		12,5
21	Terminales un cero	4		3,88
22	Terminales talón # 12	20		7,4
23	Terminales de talón # 0	7		4,07
24	Barras de bronce	2		20
25	Borneras	6		11,4
26	Aisladores de cerámica	4		4,8
27	Tacos Fisher F6	100		0,89
28	Cinta aislante	11		7,5
29	Brocas de concreto F6	5	Para concreto	17,41
30	Broca 9/16"	1	Para acero	7,5
31	Batería	1	Ciclo profundo	229,82
32	Capacitor	1		93,75

33	Puerta	1	Madera	45
34	Sicaflex	1		7,76
35	Cinta espuma doble faz	1		4,14
36	Galvanizado ⁴³	258,50 kg		157,7
37	Focos ahorradores	60		360
			<i>SUBTOTAL</i>	1809,12

Tabla 5.3 Costos indirectos de fabricación (Instalaciones eléctricas).

Fuente: PROPIA

Elaborado por: MATIAS SCHWEITZER

5.3 COSTOS DE MANO DE OBRA INDIRECTA

<i>Concepto</i>	<i>Costo</i>
Emplazamiento de la torre	150
Instalaciones eléctricas	500
<i>SUBTOTAL</i>	
	650

Tabla 5.4 Costos de mano de obra indirecta.

Fuente: PROPIA

Elaborado por: MATIAS SCHWEITZER

⁴³ El costo por kilogramo de galvanizado es de \$ 0,61 dólares americanos.

5.4 RESUMEN DE COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS

<i>Descripción</i>	<i>Valor total</i>
Costos de Materiales utilizados	1315,68
Costos de mano de obra directa	430,20
Costos Indirectos	1809,12
Costos de mano de obra indirecta	650
<i>TOTAL COSTOS</i>	4205,00

Tabla 5.5 Resumen de costos directos e indirectos.

Fuente: PROPIA

Elaborado por: MATIAS SCHWEITZER

5.5 COSTO DE DISEÑO Y ELABORACIÓN DE PLANOS

El valor promedio se encuentra entre el 20 y el 30% del costo total de fabricación del sistema, tomando en cuenta los costos directos e indirectos, como también los costos de mano de obra directa e indirecta que intervinieron en todo el proyecto.

Para este caso el costo será del 25% de \$ 4205,00 dólares americanos, es decir el costo del diseño y la elaboración de planos será de:

<i>Costo de diseño y elaboración de planos</i>
1051,25

Tabla 5.6 Costos de diseño y elaboración de planos.

Fuente: PROPIA

Elaborado por: MATIAS SCHWEITZER

5.6 COSTO TOTAL DEL SISTEMA

<i>Descripción</i>	<i>Valor total</i>
Costo total del sistema	4205,00
Costo de diseño y elaboración de planos	1051,25
<i>TOTAL COSTOS</i>	5256,25

Tabla 5.7 Costo total del sistema.

Fuente: PROPIA

- ❖ **El costo total del sistema eólico para la generación de energía eléctrica es de: \$ 5256,25 dólares americanos.**

CONCLUSIONES

- ❖ En este proyecto de tesis se expuso el completo procedimiento necesario para la realización del diseño de un aerogenerador de eje horizontal multipalas, acompañado de las consideraciones de diseño necesarias para su utilización dentro de las instalaciones del hotel.

- ❖ La energía eólica es abundante, renovable y limpia, permite en gran escala disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde.

- ❖ El bajo costo y la disponibilidad en el mercado de la materia prima e insumos para la fabricación de un aerogenerador de las características del presente proyecto, son indicadores de que esta tecnología se presenta como una gran alternativa energética para atender las pequeñas demandas energéticas de las zonas rurales del Ecuador.

- ❖ Es importante anotar que los elementos de la estructura, a más de cumplir el chequeo de esfuerzos, están dimensionados para cumplir con las especificaciones de normativa de deflexión máxima de la torre y aspectos relacionados con la factibilidad de construcción.

- ❖ Vale hacer notar que una parte importante de la inversión está dirigida a las instalaciones eléctricas y acumuladores. Aproximadamente de un 20% a 50% del total del costo.

RECOMENDACIONES

- ❖ Para el montaje y fabricación de los elementos del aerogenerador de eje horizontal multipalas se deben considerar aspectos como: facilidad de transportación, seguridad del personal y disponibilidad de materia prima en el mercado para evitar contratiempos a la hora de la fabricación e instalación.

- ❖ Usar tratamientos superficiales para evitar daño de los elementos metálicos por corrosión.

- ❖ Para todo sistema eólico se recomienda tener un control de descarga en las baterías ya que en tiempos de calma del viento, evitará desperfectos de los acumuladores.

- ❖ Tomar en cuenta el tiempo de funcionamiento del sistema eólico, para realizar los mantenimientos pertinentes establecidos en las tablas 3.13 y 3.14.

- ❖ Dar a conocer a las personas beneficiadas de este proyecto el funcionamiento y los parámetros de seguridad que tiene el panel de control del sistema eólico.

BIBLIOGRAFÍA

- ❖ NORMA ASCE 10-97; DISEÑO DE ESTRUCTURAS RETICULADAS.

- ❖ INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología E Hidrología.

- ❖ MANUAL DEL INGENIERO MECANICO, McGraw-Hill, Novena Edición,1995, México.

- ❖ M.CASTRO GIL, Monografías Técnicas de energías renovables, Tercera edición 2011, España.

- ❖ MC CORMAK, Diseño de Estructuras de Acero, Método LRFD, 2da edición, 2002.

- ❖ PAUL GIPE, Energía eólica práctica, Primera edición 2000, España.

- ❖ R.C. Hibbeler, Mecánica de Materiales , 6ta Edición ,Editorial Pearson, México, 2006

- ❖ SHIGLEY, Joseph; MISCHKE, Charles, “Diseño en Ingeniería Mecánica”, Octava edición, McGRAW-HILL/Interamericana editores, México.

PÁGINAS DE INTERNET

- ❖ <http://www.aeeolica.org/>

- ❖ <http://www.aerogeneradores.com>

- ❖ [http:// www.energiasrenovables.com](http://www.energiasrenovables.com)

- ❖ <http:// www.castillohermanos.com>

- ❖ <http:// www.philips.com>

ANEXOS

ANEXO A1


PLANOS

ANEXO A2
GRAFICAS SAP 2000

ANEXO A3

TABLAS

ANEXO 1 (Tabla de material utilizado)


IVAN BOMMAN S.A.
Industria de Acero y Metales S.A.

AISI 1018

Eje de transmisión - Tolerancia h10-h11

GENERALIDADES: Acero de bajo contenido de carbono.

ANÁLISIS TÍPICO %

SAE 1018	C	Mn	P	S
	0.15-0.20	0.60-0.90	0.040	0.050

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Suministrado laminado en frío (medidas pequeñas hasta 2 1/2") o torneado (medidas hasta 6"). Las medidas 7", 8", 9" y 10" son suministradas laminadas en caliente o torneado de desbaste.

Condición suministrada en frío	
Elongación de cedencia (σ _{0.2}) mm/m	21-31
Tolerancia a la tracción (R _m) MPa	390
Resistencia a la tracción (R _m) MPa	570
Resistencia a la tracción (R _m) MPa	630

APLICACIONES






Donde se requiere aplicaciones con cargas mecánicas no muy severas, pero con ciertos grados de tenacidad impactantes, como por ej. ejes y ejes y barras, pivotes de máquinas pequeñas, ejes, bujes, parafusos, grapas, etc. Fácil de cementación con buena profundidad de penetración debido a su alto contenido de manganeso. Excelente soldabilidad.

MEDIDAS EN STOCK

REDONDO

INCHOS	MILIMETROS
1/4	0.28
5/16	0.4
3/8	0.6
1/2	1.0
3/4	1.6
5/8	2.2
7/8	3.0
1	4.0
1 1/4	5.0
1 5/8	6.2
1 3/8	7.4
1 1/2	8.9
1 3/4	12.2
2	15.9
2 1/4	20.1
2 1/2	24.8
2 3/4	30.0
3 1/4	35.8
3 1/2	42.0
3 3/4	48.7
4 1/2	55.9
5 1/2	63.6
6	80.5

ANEXO 2 (Tabla de pernos en pulgadas)

GRADOS Y MARCAS	ESPECIFICACION	MATERIAL	DIAMETRO NOMINAL DEL PERNO	CARGA DE PRUEBA	RESISTENCIA MIN A LA TRACCION	CARGA DE PRUEBA	RESISTENCIA MIN. A LA TRACCION	CARGA DE PRUEBA	RESISTENCIA MIN. A LA TRACCION
				PSI		KG/mm		MPA	
 Grado 2	ASTM-A307 GRADO A	ACERO DE BAJO CAROBONO	1/4" HASTA 3"		60.000		42		414
 Grado 5	ASTM-A449 TIPO 1	ACERO DE MEDIO CAROBONO TEMPLADO Y REVENIDO	1/4" HASTA 1 " SOBRE 1" HASTA 1.1/2"	85.000 74.000 55.000	120.000 105.000 90.000	60 52 39	84 74 63	586 510 379	827 724 620
 Grado 8	ASTM-A354 GRADO BD	ACERO ALEADO TEMPLADO Y REVENIDO	1/4" HASTA 2 1/2 "	120.000	150.000	84	105	827	1034
			SOBRE 2 1/2" HASTA 4"	105.000	140.000	74	98	724	985
 A 325	ASTM-A325 TIPO 1	ACERO DE MEDIO CAROBONO TEMPLADO Y REVENIDO	1/2" HASTA 1"	85.000	120.000	60	84	586	827
			SOBRE 1" HASTA 1.1/2"	74.000	105.000	52	74	510	724
 A 490	ASTM-A490 TIPO 1	ACERO ALEADO TEMPLADO Y REVENIDO	1/2" HASTA 1.1/2"	120.000	150.000	84	105	827	1034

ANEXO 3 (Tabla de rodamientos de rodillos cónicos SKF)



[Tablas de productos](#)
[Buscar](#)
[IMP](#)
[PDF](#)
[Imprimir](#)
[Cerrar](#)

Seleccione el diseño (todo) ▾

Rodamientos de rodillos cónicos, de una hilera

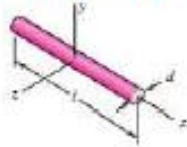
[Tolerancias](#) , ver también el [texto](#)
[Ajustes recomendados](#)
[Tolerancias del eje y del alojamiento](#)

Dimensiones principales			Capacidades de carga		Carga límite de fatiga P_u	Velocidades		Masa	Designación
d	D	T	C	C_0		Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	rpm	kg	-	
50	90	24,75	82,5	100	11,4	5600	7500	0,61	32210 J2/Q
50	90	28	106	140	16	5300	8000	0,75	JM 205149/110 A/Q
50	90	28	106	140	16	5300	8000	0,75	JM 205149/110/Q
50	90	32	114	160	18,3	5000	7000	0,90	33210/Q
50	100	36	154	200	22,4	5000	7500	1,30	T2ED 050/Q
50	105	32	108	137	16	4300	6300	1,20	T7FC 050/QCL7C
50	110	29,25	143	140	16,6	5300	6300	1,25	30310 J2/Q *
50	110	29,25	122	120	14,3	4500	6000	1,20	31310 J2/QCL7C *
50	110	42,25	183	216	24,5	4500	6000	1,85	32310 BJ2/QCL7C *
50	110	42,25	172	212	24	4300	6300	1,80	32310 J2/Q
50	110	42,25	172	212	24	4300	6300	1,80	32310 TN9
50,8	82,55	21,59	72,1	100	11	6000	8500	0,43	LM 104949/911/Q
50,8	85	17,462	50,1	65,5	7,2	5600	8500	0,37	18790/18720/Q
50,8	88,9	20,637	76,5	91,5	10,4	5600	8000	0,50	368 A/362 A/Q
50,8	90	25	76,5	91,5	10,4	5600	8000	0,58	368 A/362 X/Q
50,8	93,264	30,162	110	146	17	5300	7500	0,85	3780/3720/Q
50,8	97,63	24,608	89,7	129	14,6	5000	7000	0,83	28678/28622 B/Q
50,8	104,775	36,512	145	204	22,4	4500	6700	1,50	HM 807046/010/QCL7C
50,8	104,775	39,688	157	224	25,5	4800	7000	1,65	4580/2/4535/2/Q
50,8	107,95	36,512	151	190	22,8	4800	7000	1,55	537/532 X/Q
53,975	88,9	19,05	58,3	78	9	5300	8000	0,43	LM 806649/610/Q
53,975	95,25	27,783	105	137	16	5300	7500	0,80	33895/33821/Q
53,975	95,25	27,783	105	137	16	5300	7500	0,80	33895/33822/Q
53,975	107,95	36,512	151	190	22,8	4800	7000	1,45	539/532 X
53,975	111,125	38,1	151	190	22,8	4800	7000	1,55	539/532 A

ANEXO 4 (Tabla de las propiedades de sólidos)

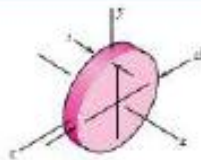
Part 2 Properties of Solids (ρ = Density, Weight per Unit Volume)

Rods



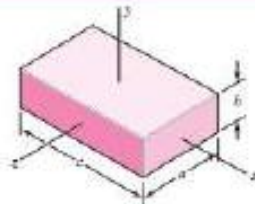
$$m = \frac{\pi d^2 l \rho}{4g} \quad I_y = I_z = \frac{ml^2}{12}$$

Round disks



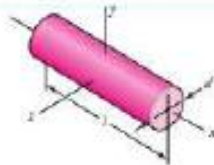
$$m = \frac{\pi d^2 t \rho}{4g} \quad I_x = \frac{md^2}{8} \quad I_y = I_z = \frac{md^2}{16}$$

Rectangular prisms



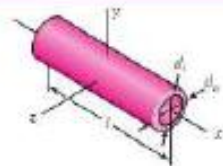
$$m = \frac{abc\rho}{g} \quad I_x = \frac{m}{12}(a^2 + b^2) \quad I_y = \frac{m}{12}(a^2 + c^2) \quad I_z = \frac{m}{12}(b^2 + c^2)$$

Cylinders



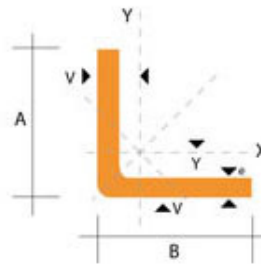
$$m = \frac{\pi d^2 l \rho}{4g} \quad I_x = \frac{ml^2}{8} \quad I_y = I_z = \frac{m}{48}(3d^2 + 4l^2)$$

Hollow cylinders



$$m = \frac{\pi (d_o^2 - d_i^2) l \rho}{4g} \quad I_x = \frac{m}{8} (d_o^2 + d_i^2) \quad I_y = I_z = \frac{m}{48} (3d_o^2 + 3d_i^2 + 4l^2)$$

ANEXO 5 (Tabla de propiedades de ángulo estructural)



Continuación del cuadro anterior

DIMENSIONES			PESOS		SECCION	EJE X-X		EJE Y-Y		EJE U-U	EJE V-V
A	B	e	6 metros	1 metro		I	W	i	X=Y	i	i
mm	mm	mm	Kg	Kg	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm	cm
100	100	5	45.18	7.53	9.59	95.50	13.10	3.16	2.73	4.01	1.95
100	100	6	54.72	9.12	11.40	112.50	15.58	3.14	2.78	4.00	1.92
100	100	8	71.76	11.96	14.95	144.63	20.29	3.11	2.87	3.97	1.89
100	100	10	88.14	14.69	18.36	173.85	24.73	3.08	2.97	3.94	1.83
100	100	12	105.12	17.52	21.63	201.12	28.98	3.05	3.06	3.92	1.82
100	100	14	120.42	20.07	24.78	225.60	32.98	3.02	3.16	3.89	1.75
125	125	5	56.94	9.49	12.10	190.00	20.80	3.96	3.35	5.03	2.46
125	125	6	69.12	11.52	14.40	224.55	24.67	3.95	3.40	5.02	2.44
125	125	8	90.96	15.16	18.95	290.90	32.29	3.92	3.49	4.99	2.47
125	125	10	112.14	18.69	23.36	353.10	39.63	3.89	3.59	4.96	2.35
125	125	12	134.28	22.38	27.63	411.29	46.63	3.86	3.68	4.94	2.32
125	125	14	154.44	25.74	31.78	465.43	53.38	3.83	3.78	4.91	2.27
150	150	6	83.52	13.92	17.40	393.59	35.88	4.75	4.03	6.04	2.94
150	150	8	110.16	18.36	22.95	512.45	47.10	4.72	4.12	6.01	2.92
150	150	10	136.14	22.69	28.36	625.31	57.95	4.69	4.21	5.98	2.87
150	150	12	163.14	27.24	33.60	732.00	68.50	4.67	4.31	5.96	2.84
150	150	14	183.60	30.60	37.78	833.33	78.62	4.64	4.40	5.93	2.79
175	175	6	99.18	16.53	20.41	631.44	49.14	5.56	4.65	7.06	3.45
175	175	8	131.22	21.87	26.90	825.00	64.70	5.53	4.74	7.03	3.43
175	175	10	160.20	26.70	33.40	1010.00	79.80	5.50	4.84	7.01	3.39
175	175	12	192.54	32.09	39.60	1190.00	94.50	5.47	4.93	6.98	3.35
175	175	14	222.24	37.04	45.80	1360.00	109.00	5.44	5.03	6.95	3.35
200	200	6	112.32	18.72	23.40	949.53	64.50	6.37	5.28	8.08	3.95
200	200	8	148.56	24.76	30.95	1243.96	85.02	6.34	5.37	8.05	3.32
200	200	10	184.14	30.69	38.36	1527.52	105.05	6.31	5.46	8.02	3.39
200	200	12	221.14	36.94	45.60	1800.00	125.00	6.28	5.55	8.00	3.36
200	200	14	256.26	42.71	52.80	2060.00	144.00	6.25	5.65	7.97	3.42
250	250	6	141.12	23.52	29.40	1874.06	101.46	7.98	6.53	10.12	4.97
250	250	8	186.96	31.16	38.95	2464.09	134.06	7.95	6.62	10.09	4.34
250	250	10	232.14	38.69	48.36	3037.01	166.04	7.92	6.71	10.06	4.37
250	250	12	280.08	46.68	57.63	3593.42	197.44	7.90	6.80	10.04	4.38
250	250	14	324.54	54.09	66.78	4132.57	228.32	7.87	6.90	10.01	4.32

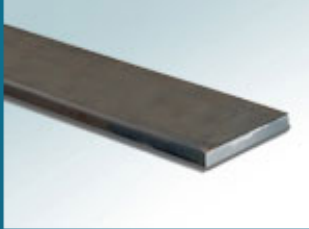
También en galvanizado e inoxidable - Medidas Especiales Bajo Pedido.

ANEXO 6 (Tabla de dimensiones de tubería de sección cuadrada)

DIMENSIONES		AREA	PESO
B	e	A	P
mm	mm	cm ²	Kg/m
20	1.5	1.05	0.83
	2.0	1.34	1.05
25	1.5	1.35	1.08
	2.0	1.74	1.36
30	1.5	1.65	1.30
	2.0	2.14	1.68
	3.0	3.01	2.36
40	1.5	2.25	1.77
	2.0	2.94	2.31
	3.0	4.21	3.30
50	1.5	2.85	2.24
	2.0	3.74	2.93
	3.0	5.41	4.25
60	1.5	3.45	2.71
	2.0	4.54	3.56
	3.0	6.61	5.19
75	2.0	5.74	4.50
	3.0	8.41	6.60
	4.0	10.95	8.59
100	2.0	7.74	6.07
	3.0	11.41	8.96
	4.0	14.95	11.73

ANEXO 7 (Tabla de dimensiones de platina)

PLATINA LAMINADA		
DIMENSIONES	ESPESOR	PESO
B	e	P
mm	mm	Kg/8m
12	3.0	1.70
12	4.0	2.26
12	6.0	3.39
20	3.0	2.83
20	4.0	5.00
20	6.0	5.37
25	3.0	3.53
25	4.0	4.71
25	6.0	7.07
25	8.0	9.42
25	9.5	10.59
25	12.0	14.13
30	3.0	4.24
30	4.0	7.07
30	6.0	8.47
30	8.0	11.30
30	9.5	12.71
30	12.0	16.98
40	3.0	5.37
40	4.0	7.16
40	6.0	10.74
40	8.0	16.11
40	9.5	17.90
40	12.0	21.48
50	3.0	7.07
50	4.0	9.50
50	6.0	14.13
50	8.0	18.84
50	9.5	21.20
50	12.0	28.28
65	6.0	18.37



Largo Normal: 6 m
 Recubrimiento: Negro
 Norma de Fabricación: DIN 17100
 ST 37-2
 ASTM A-36
 Observaciones: Otras dimensiones y largos
 previa consulta

ANEXO 8 (Registro de datos meteorológicos)

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA UNIDAD ATENCION AL USUARIO

VIENTO MAXIMO MENSUAL Y DIRECCION (m/s)

S E R I E S M E N S U A L E S D E D A T O S M E T E O R O L O G I C O S

NOMBRE: PEDERNALES-MANABI

CODIGO: M168

PERIODO: 1950 - 2010 LATITUD: 0 3 30 N LONGITUD: 80 3 20 W ELEVACION: 20

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1982	8.0 SW	5.0 SW	8.0 NW	10.0 SW	10.0 SW	8.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	14.0 SW	14.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	117.0	9.7
1983	6.0 SW		8.0 SW	5.0 NW	10.0 SW	16.0 NW	8.0 SW	8.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	12.0 SW		
1984	8.0 SW	8.0 SW	8.0 NW	8.0 SW	8.0 SW	12.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	112.0	9.3
1985	6.0 SE	6.0 SW	6.0 SW	5.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	8.0 SW	10.0 SW	14.0 SW	10.0 SW			
1986	10.0 NE	6.0 SW	6.0 SW	6.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	10.0 SW	12.0 SW	10.0 SW	12.0 SW	12.0 SW	114.0	9.5
1987	12.0 SW	8.0 SW	8.0 SW	8.0 SW	10.0 SW									
1988														
1989														
1990														
1991														
1992														
1993														
1994														
1995														
media	8.3	6.6	7.3	7.0	9.6	11.2	9.6	9.2	11.2	11.6	10.4	11.0	113.1	9.4
minima	6.0	5.0	6.0	5.0	8.0	8.0	8.0	8.0	10.0	10.0	10.0	10.0		5.0
maxima	12.0	8.0	8.0	10.0	10.0	16.0	10.0	10.0	14.0	14.0	12.0	12.0		16.0

ANEXO A4

PROFORMAS Y FACTURAS