



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE

TEMA:

**“ESTUDIO DE UN SISTEMA DE BOMBEO EÓLICO CON EL FIN DE
SATISFACER LAS NECESIDADES DE IRRIGACIÓN AGRÍCOLA EN LA
PARROQUIA GARCÍA MORENO, PELILEO.”**

AUTOR:

ALEJANDRO DANIEL GUANANGA GUEVARA

Ambato - Ecuador

2013

APROBACIÓN POR EL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación sobre el tema **“ESTUDIO DE UN SISTEMA DE BOMBEO EÓLICO CON EL FIN DE SATISFACER LAS NECESIDADES DE IRRIGACIÓN AGRÍCOLA EN LA PARROQUIA GARCÍA MORENO, PELILEO.”**, Realizado por el señor Alejandro Daniel Guananga Guevara egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica, considero que dicho informe reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Jurado Examinador, por lo tanto su autor puede continuar con el respectivo trámite de graduación.

Ambato, febrero del 2013

Ing. Alex Mayorga
Tutor del proyecto.

AUTORÍA

Yo, Alejandro Daniel Guananga Guevara portador de la C.I. 180373936-4. declaro que las ideas expuestas en el presente trabajo de grado denominado: **“ESTUDIO DE UN SISTEMA DE BOMBEO EÓLICO CON EL FIN DE SATISFACER LAS NECESIDADES DE IRRIGACIÓN AGRÍCOLA EN LA PARROQUIA GARCÍA MORENO, PELILEO”**, así como los contenidos, ideas, análisis, conclusiones, recomendaciones y propuesta son de mi absoluta responsabilidad.

EL AUTOR

Egdo. Alejandro Daniel Guananga Guevara
C.I. 180373936-4

DEDICATORIA

A dios por darme la sabiduría y fuerza para elegir esta carrera apasionante e interesante.

A mis queridos padres Marina Guevara, Humberto Guananga seres incansables en la lucha por conseguir mis sueños, inculcando el valor del estudio

A mis hermanos Mercedes, Leonardo, Jessica, Frank y sobrina Nahomy que han sido y serán el pilar permanente de mi vida, como no dedicar a una amiga tan especial Nelly quien me apoyo en los momentos difíciles.

ALEJANDRO GUANANGA G.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento va encaminado al personal docente y administrativo de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, donde a lo largo de mi formación académica fui logrando mi meta, hasta cumplir con mi objetivo final, que hoy veo cumplido.

Al organismo docente de la Carrera de Ingeniería Mecánica, guías perseverantes del saber, justicia y libertad, en especial al Ing. Alex Mayorga, director del proyecto de tesis, por su aporte generoso para la ejecución del presente proyecto.

A mis amigos, compañeros personas que de una u otra forma contribuyeron en la realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

A. Paginas Preliminares

Anteportada.....	i
Portada.....	ii
Certificación.....	iii
Autoría.....	iv
Dedicatorias.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice general.....	vii
Índice de tabla.....	xii
Índice de figuras.....	xiv
Índice de gráficos.....	xix
Índice de simbología.....	xvii
Resumen ejecutivo.....	xxix
Introducción.....	xxxix

B.- Texto

EL PROBLEMA.....	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis crítico.....	3
1.2.3 Prognosis.....	3
1.2.4 Formulación del problema.....	3
1.2.5 Interrogantes.....	4
1.2.6 Delimitación del objeto de investigación.....	4
1.2.6.1 De contenido.....	4
1.2.6.2 Espacial.....	5
1.2.6.3 Temporal.....	5
1.3 Justificación.....	5
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivo específico.....	5
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	7
2.1.1 Antecedentes.....	7
2.1.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	8
2.2.1.1 Principio básico de los sistemas de bombeo.....	8
2.2.1.2 Funcionamiento del molino de viento.....	8
2.1.2.3 Características generales del clima en el Ecuador.....	9

2.1.2.3 El viento.....	11
2.1.2.4 Energía.....	11
2.1.2.5 Principio de funcionamiento.....	12
2.1.2.6 Aerobomba.....	14
2.2.2.6 Bombas.....	26
2.2.2.7 Selección de la Aerobomba.....	31
2.3 HIPÓTESIS.....	33
2.4 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES.....	33
2.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	33
2.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE.....	33
2.4.3 TÉRMINOS DE RELACIÓN.....	33
METODOLOGÍA.....	34
3.1 ENFOQUE.....	34
3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	34
3.2.1 Investigación de campo.....	34
3.2.2 Investigación Bibliográfica- documental.....	34
3.2.3 Investigación Experimental.....	35
3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	35
3.3.1 Explicativo.....	35
3.3.2 Descriptivo.....	35
3.3.3 Explicativo.....	35
3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	35
3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	36
3.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	36
3.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE.....	37
3.6 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	37
3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	37
3.7.1 PLAN DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	37
3.7.2 PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	38
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	39
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	39
4.1.1 Estudio de un método de riego eficiente.....	39
4.1.2 Evaluación de Prospección eólica.....	46
4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	51
4.3 Verificación de la hipótesis.....	60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61

5.1 Conclusiones.....	61
5.2 Recomendaciones.....	62
PROPUESTA.....	64
6.1 DATOS INFORMATIVOS.....	64
6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.....	64
6.3 JUSTIFICACIÓN.....	65
6.4 OBJETIVOS.....	65
6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.....	65
6.6 FUNDAMENTACIÓN.....	66
6.6.1 Determinación del Potencial eólico.....	65
6.6.1.1 Fuerzas Aerodinámicas en movimiento que actúan sobre el perfil.....	75
6.6.1.2 Espesor del perfil.....	75
6.6.1.3 Fuerzas sobre el perfil en movimiento.....	78
6.6.2 Dimensionamiento del sistema hidraulico.....	80
6.6.2.1 Perdidas.....	86
6.6.2.2 Perdidas de cargas regulares.....	87
6.6.2.3 Perdidas de cargas singulares.....	91
6.6.3 Dimensionamiento Sistema de transmisión (eje y pistón).....	92
6.6.4 Dimensionamiento Sistema de transmisión (biela).....	96
6.6.5 Diseño de la manivela.....	98
6.6.6 Cavitación.....	104
6.6.7 Golpe de ariete.....	105
6.6.8 Dimensionamiento mecánico de las piezas.....	105
6.6.9 Selección de rodamientos.....	115
6.6.10 Diseño de la Chaveta.....	118
6.6.11 Diseño de la Tornamesa.....	120
6.6.11.1 Soporte vertical o columna armada.....	127
6.6.11.3 Cartela o platina para veleta.....	129
6.6.11.4 Eje de tornamesa.....	130
6.6.11.5 Cálculo de Soldadura – conexión en la estructura de la tornamesa.....	134
6.6.11.6 Cálculo del Conjunto veleta – placa guía.....	136
6.7 Almacenamiento de agua y distribución.....	141
6.8 Obra civil.....	143
6.9 Análisis estructural de la torre.....	144
6.7 Cálculo Administrativo.....	152
6.7.1 Análisis de costos.....	152
6.7.2 Costo total de construcción del sistema de bombeo eólico.....	154
6.7.3 Financiamiento.....	154
6.7.3 Cálculo del TMAR Y TIR.....	156
6.8 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN.....	157
6.8.1 Manual de instalación, reparación y mantenimiento.....	169
C. Materiales de referencia	
BIBLIOGRAFÍA.....	170

ANEXOS.....	173
-------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Escala Beaufort para la medición cualitativa de la velocidad de viento.....	10
Tabla 3.1 Operacionalización de variable independiente.....	36
Tabla 3.2 Operacionalización de variable dependiente.....	37
Tabla 4.1 Métodos de riego con sus respectivas eficiencias.....	40
Tabla 4.2 Coeficiente del cultivo (kc).....	42
Tabla 4.3 Determinación del gotero en relación a la presión.....	44
Tabla 4.4 Diámetro mojado por un emisor de 4 (l/h).....	45
Tabla 4.5 Escala Beaufort para la medición cualitativa de la velocidad de viento.....	48
Tabla 4.6 Velocidades medias diarias, frecuencias relativas, frecuencias acumuladas.....	52
Tabla 4.7 Tratamiento estadístico de los datos de la velocidad del viento.....	55
Tabla 6.1 Relación de velocidad específica con el número de palas.....	68
Tabla 4.2 Determinación de la cuerda.....	70
Tabla 6.3 Constantes de condiciones de extremos para columnas de Euler.....	77
Tabla 6.4 Cálculo de la velocidad periférica.....	77
Tabla 6.5 Cálculo de la velocidad aparente del viento.....	77
Tabla 6.6 Tabla de triángulo de velocidades.....	78
Tabla 6.7 Obtención de fuerzas par.....	78
Tabla 6.8 Obtención de fuerzas axiales.....	79
Tabla 6.9 Obtención de fuerzas arrastre.....	79
Tabla 6.10 Obtención de fuerzas ascensional.....	80
Tabla 6.11 Capacidad de bombeo y relación con el diámetro del cilindro y con el rotor de la Aerobomba.....	82
Tabla 6.12 Coeficiente de pérdidas de carga.....	91
Tabla 6.13 Coeficiente de pérdidas de carga II.....	91
Tabla 6.14 Tipo de cargas y valores de kf y kt aplicadas.....	109
Tabla 6.15 Características del rodamiento de rodillos cónico para el eje del rotor.....	116
Tabla 6.16 Cargas muertas que actúan sobre la torre.....	145
Tabla 6.17 Plantilla de cálculo de costos directos.....	152
Tabla 6.18 Plantilla de cálculo de costos de maquinaria.....	153
Tabla 6.19 Plantilla de cálculo de costos mano de obra.....	153
Tabla 6.20 Plantilla de cálculo de costos varios.....	153
Tabla 6.21 Utilidad generada por la máquina de bombeo.....	155
Tabla 6.21 Cuadro de mantenimiento bianual.....	169

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 Anemómetro, sensor de velocidad y dirección del viento.....	11
Fig. 2.2 Esquemas de una Aerobomba.....	14
Fig. 2.3 Funcionamientos de una Aerobomba.....	15
Fig. 2.4 Sistema de bombeo de primera generación.....	16
Fig. 2.5 Sistema de bombeo de segunda generación.....	19
Fig. 2.6 Sistema de bombeo de manufactura informal.....	20

Fig. 2.7 Sistema de bombeo no convencional tipo Savonius.....	21
Fig. 2.8 Sistema de bombeo no convencional tipo Savonius.....	21
Fig. 2.9 Sistema de bombeo eólico – eléctrico	22
Fig. 2.10 Cabezote del molino de viento.....	24
Fig. 2.11 Sistema de transmisión.....	24
Fig. 2.12 Mecanismos de orientación.....	25
Fig. 2.13 Esquema de funcionamiento de una Bomba de pistón.....	29
Fig. 4.1 Esquema a considerar en un sistema de riego.....	40
Fig. 4.2 Medición de la evaporación.....	41
Fig. 4.3 Árbol torcido por influencia permanente del viento en la localidad.....	49
Fig. 4.4 Esquema de la estación meteorológica utilizada.....	50
Fig. 4.5 Distribución de Weibull.....	56
Fig. 6.1 Forma de seccionar una pala.....	69
Fig. 6.2 Linealización y curvatura del alabe.....	71
Fig. 6.3 Forma del alabe, curvatura, y secciones transversales.....	72
Fig.6.4 Vista superior de la pala, radios a diferentes secciones.....	72
Fig.6.5 Vista EN3D de la pala.....	73
Fig. 6.6 Esquema hidráulico.....	81
Fig. 6.7 Desplazamiento del pistón en función del ángulo de rotación.....	83
Fig. 6.8 Relación entre la longitud entre la biela y la manivela.....	86
Fig. 6.9 Fuerzas actuantes en el pistón.....	95
Fig.6.10 Esquema de fuerzas ejercidas sobre la biela.....	96
Fig. 6.11 Esquema de la manivela.....	98
Fig.6.12 Esquema de fuerzas en la manivela.....	99
Fig.6.13 Esquema de fuerzas tramo C-D.....	99
Fig.6.14 Esquema de fuerzas tramo B-C.....	101
Fig.6.15 Esquema de fuerzas tramo A-B.....	103
Fig.6.16 Eje del rotor.....	106
Fig.6.17 Esquema de las fuerzas ejercidas sobre el eje del rotor.....	106
Fig.6.18 Diagrama de momentos flectores en el eje.....	108
Fig.6.19 Esquema de un esfuerzo fluctuante.....	111
Fig.6.20 Geometría de la chaveta.....	118
Fig.6.21 Esquema de la tornamesa.....	120
Fig. 6.22 Diagrama de cuerpo libre de la viga de la tornamesa.....	120
Fig.6.23 Diagrama de cortantes y momentos en la viga.....	121
Fig.6.24 Esquema del Perfil " L" 40 * 40 * 6 mm.....	124
Fig.6.25 Esquema de los soportes verticales soldados de la tornamesa.....	125
Fig. 6.26 Esquema de los soportes verticales soldados	127
Fig. 6.27 Esquema de la platina.....	129
Fig. 6.28 Esquema de fuerzas ejercidas sobre el eje de la tornamesa.....	130
Fig. 6.29 Diagrama soldadura.....	134
Fig. 6.30 Esquema de la veleta.....	136
Fig. 6.31 Esquema de la placa de la veleta.....	137
Fig. 6.32 Diagrama de cuerpo libre de la veleta.....	138
Fig. 6.33 Fuerzas que intervienen en la veleta.....	141
Fig. 6.34 Esquemas de almacenamiento utilizados en sistema de Aerobombeo.....	142
Fig. 6.35 Estructura diseñada.....	144

Fig.6.36 Definición de Cargas.....	145
Fig. 6.37 Diagrama de equilibrio de la torre.....	146
Fig. 6.38 Estructura a ser analizada.....	147
Fig. 6.39 Definición del tipo de material.....	148
Fig. 6.40 Colocación del perfil estructural.....	148
Fig.6.41 Análisis de la estructura.....	149
Fig. 6. 42 Factores de seguridad de la estructura.....	150
Fig. 6.43 Determinación de fuerzas axiales y a torsión.....	151
Fig. 6.44 Determinación de fuerzas axiales y a torsión.....	151
Fig. 6.45 Flujo operativo.....	156
Fig. 6.46 Preparación a los involucrados en el proyecto.....	157
Fig. 6.47 Colocación óptima de la Aerobomba.....	158
Fig. 6.48 Colocación no óptima de la Aerobomba.....	158
Fig. 6.49 Transporte de los componentes.....	158
Fig. 6.50 Descarga de los componentes.....	159
Fig. 6.51 Descarga de Tornamesa y Veleta.....	159
Fig. 6.52 Descarga de Torre.....	159
Fig. 6.53 Traslado de Torre al lugar de instalación.....	160
Fig. 6.54 Rotor, abrazaderas, pernos tuercas, aspas.....	160
Fig. 6.55 Plato del rotor, biela, plato manivela, eje.....	160
Fig. 6.56 Componentes de la veleta.....	161
Fig. 6.67 Barra, uniones, rotula.....	161
Fig. 6.58 Teé, válvula de pie, cuerpo de bomba, tubo de descarga, tubo de aspiración...161	
Fig. 6.59 Materiales a utilizar en el montaje de la Aerobomba.....	162
Fig. 6.60 Verificación las medidas de la pala y diámetro del Rotor.....	162
Fig. 6.61 Montaje del Plato Rotor en la Tornamesa.....	163
Fig. 6.62 Colocación del Plato Manivela en la Tornamesa.....	163
Fig. 6.63 Colocación del cubo en el eje.....	163
Fig.6.64 Aseguramiento de la cuba en el plato rotor.....	164
Fig. 6.65 Verificación de las dimensiones de la veleta.....	164
Fig. 6.66 Colocación del tubo de aspiración.....	164
Fig. 6.67 Colocación el tubo de descarga.....	165
Fig. 6.68 Colocación de la Teé de salida de agua.....	165
Fig. 6.69 Colocación de la bomba al pozo.....	165
Fig. 6.70 Ubicación de la bomba al pozo.....	165
Fig. 6.71 Sujeción de la bomba al pozo.....	166
Fig. 6.72 Montaje de la tornamesa en el trípode de la torre.....	166
Fig. 6.73 Colocación de aspas.....	167
Fig. 6.74 Colocación de la veleta en la tornamesa.....	167
Fig. 6.75 Alineación de la transmisión.....	168

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 Gráfica que nos permite conocer un valor aproximado velocidad promedio del viento.....	49
Gráfico 4.2 Histograma de frecuencias relativas.....	53

Gráfico 4.3 Frecuencias relativas acumuladas <<menor o igual que>>.....	53
Gráfico 4.4 Frecuencias relativas acumuladas <<mayor que>>.....	53
Gráfico 4.5 Curva de frecuencias de la velocidad del viento.....	54
Gráfico 6.1 Velocidad del pistón en función del ángulo de rotación.....	87
Gráfico 6.2 Aceleración del pistón en función del ángulo de rotación.....	92

SIMBOLOGÍA

ALFABÉTICA

a	Aceleración del pistón
a_{max}	Aceleración máxima del pistón
A	Área, Área de soldadura, Diferencia de áreas, Área barrida por el rotor
A_b	Área de la bomba
A_{mg}	Área mojada por emisor
A_g	Área del perfil
A_{placa}	Área de placa
A_t	Área de la tubería
b	Base del rectángulo
c	Parámetro de Weibull, Condición de extremos, Velocidad aparente, Longitud de cuerda, Distancia al eje neutro, Longitud de la platina
C	Distancia del eje neutral a la fibra más exterior de la sección transversal del eje.
C_{di}	Costos directos
C_{ind}	Costos indirectos
C_p	Coefficiente de potencia
C_p'	Coefficiente de arrastre
C_m	Costo de maquinaria utilizada
C_{mo}	Costo de mano de obra
C_t	Costo total
C_v	Costos varios
D.B.C	Demanda real o bruta
D.N.C	Demanda neta del cultivo
D	Diámetro
d_v	Diámetro del vástago
d_t	Diámetro del tubo
d_g	Diámetro de giro
d_b	Diámetro interno de la bomba
D	Diámetro del rotor
D	Distancia
d.g	Ubicación de goteros en línea lateral
e_{placa}	Espesor de placa
ETc	Evapotranspiración del cultivo
EB	Evaporación desde la bandeja
F_a	Carga axial
F_a	Esfuerzo permisible

f_b	Esfuerzo permisible o flexión
F_b	Esfuerzo permisible básico
F_v	Esfuerzo al cortar
F_e	Factor de energía
f	Flecha máxima
$FNEn$	Flujo neto de efectivo del año n
F	Fuerza
F_2	Fuerza del agua contenida en la bomba
F_a	Fuerza axial
F_b	Fuerza bombeo
F_c	Fuerza centrífuga
F_p	Fuerza de la columna de agua sobre el pistón
F	Fuerza de compresión
F_{per}	Fuerza generada por las pérdidas
F_{per}	Fuerza generada por las pérdidas hidráulicas
F_i	Fuerza de inercia
F_r	Fuerza de rozamiento a fricción
F_r	Fuerza radial
F_1	Fuerza en el pistón debido a la columna de agua en la tubería
F_3	Fuerza total en el pistón
f	Premio al riesgo
F_t	Resistencia a la tencion del cordon de soldadura
g	Gravedad
h	Altura
h_a	Altura de aspiración
H	Altura de bombeo
H_b	Altura de la bomba
H_m	Altura manométrica suministrada por la bomba
h	Altura del rectángulo
H_R	Radio hidráulico
i	Inflación
I	Momento de inercia
I	Tasa referencial al que corresponde el TMAR
J	Momento polar de inercia
J_{HA}	Pérdidas de carga total en la sección de aspiración
$J_{h_{asp}}$	Pérdidas en la altura de aspiración
$J_{h_{des}}$	Perdidas en la altura de descarga
J	Perdida de carga regular, Perdida singular
K_p	Coefficiente de la bandeja
K_c	Coefficiente de cultivo (varía según tipo de cultivo)

k	Coeficiente de pérdidas en ductos lisos, Coeficiente de pérdidas para accesorios
K	Constante que depende de la fijación de los extremos
K	Factor de forma, radio de giro
K_f	Factor de concentración de esfuerzos en fatiga
k_t	Factor de concentración de esfuerzos teórico
k_a	Factor de superficie
k_b	Factor de tamaño o forma
k_c	Factor de carga
k_d	Factor de temperatura
k_e	Factor de modificación por concentración de esfuerzos
k_f	Factor de concentración de esfuerzos en fatiga
k_t	Factor de concentración de esfuerzos teórico
L	Longitud
m_c	Fuerza circular
M.P	Marco de plantación
M_{eje}	Masa del eje hueco de la tornamesa
m_{piston}	Masa del pistón
m_{total}	Masa total
m_{ele}	Masa total de los elementos
$m_{sección}$	Masa de sección
M_F	Momento flector
M	Momento
M_{max}	Momento máximo de la viga
M_x	Momento flector
M_t	Momento Torsor
M	Par en el eje del rotor
M_B	Par motor
N	Fuerza normal
N	Número de datos tomados de velocidad de viento
n.g	Número de goteros por planta
n	Número de palas, Numero de revoluciones por minuto del rotor
P	Carga dinámica equivalente del rodamiento
P	Carga estática
P_a	Carga tolerable
P	Carga real aplicada
Per	Carga crítica que origina pandeo
PC	Eficiencia aproximada de aplicación del agua
p	Inversión inicial en el año cero
P	Perímetro de giro del sistema de manivela

P_M	Perímetro mojado
P placa	Peso de placa
P.S.M.	Porcentaje de suelo a mojar
Pot	Potencia
P_u	Potencia útil
P_d	Potencia disponible
P_a	Potencia aprovechada
P	Presión
P_b	Tención o fuerza aplicada
Q_d	Caudal de diseño
q	Sensibilidad a las ranuras o muescas
RH	Diámetro característico de la canalización
r	Distancia de la sección al centro del rotor
r_c	Distancia desde el centro de gravedad al eje de giro
R	Fuerza de reacción, Radio del rotor
Re	Número de Reynolds
r	Radio, Radio del elemento, Radio de la manivela
r_{giro}	Radio de giro
r_{eje}	Radio del eje de la tornamesa
S	Carrera del pistón
S_y	Límite elástico
S_e	Límite de resistencia a la fatiga de un elemento de maquina
S_x	Módulo resistente
S_e'	Límite de resistencia a la fatiga de un eje rotativo
S_{ut}	Resistencia a la tracción
T.R.D	Tiempo de Riego Diario
T	Carga permisible o tolerable, Carga permisible, Par entregado por el rotor hacia el eje, Momento torsor
t	Temperatura del aire, Espesor, Filete de soldadura Mediana
V_e	Velocidad de entrada del fluido
V_f	Velocidad del fluido
(v_z)	Velocidad media a la altura
$\langle v \rangle$	Velocidad media
V_p	Velocidad del pistón
V_b	Volumen de la bomba en cada revolución
V_{placa}	Volumen de placa
w	Ancho
W	Cargas vivas, Cargas distribuidas, Espesor
z	Altura sobre el nivel del mar

z	Altura respecto del suelo a la que se ha medido la velocidad media
Z	Módulo de sección
GRIEGA	
σ	Desviación típica del viento
Γ	Función gamma
ω	Velocidad angular del rotor
ρ	Densidad del aire, Densidad del agua
α	Rugosidad del terreno, ángulo de ataque
λ	Velocidad específica
Ω	Coefficiente de solidez, velocidad angular del rotor
θ	Ángulo de sustentación
β	Ángulo del calaje
γ	Peso específico del agua
η	Factor de seguridad
α_0	Ángulo de contacto nominal
σ'_a	Amplitud del esfuerzo
σ'_m	Esfuerzo medio
τ_{adm}	Esfuerzo cortante admisible
σ_x	Esfuerzo de flexión
τ_{xy}	Esfuerzo a torsión
τ_{adm}	Esfuerzo cortante admisible
α	Cargas son consideradas graduales en flexión y pueden ser bruscas en torsión
τ_{xy}	Esfuerzo por torsión
σ	Esfuerzo normal
τ	Esfuerzo cortante máximo
σ_F	Esfuerzo de flexión
σ	Tensión por tracción
δ	Deformación
ω	Velocidad de giro del rotor
α	Angulo de giro de la manivela
λ	Relación entre la longitud de la manivela y la biela, ángulo girado por el cigüeñal contado desde el punto muerto superior
φ	Coefficiente de fricción
u	Viscosidad cinemática del agua
λ	Relación entre la longitud de la biela y la manivela
μ	Coefficiente de rozamiento
η_b	Rendimiento de la bomba
σ_F	Esfuerzo de flexión
E	Módulo de elasticidad

RESUMEN EJECUTIVO

Esta investigación trata del estudio conversor de energía para bombeo en la utilización de irrigación agrícola, la cual ayudará a minimizar los problemas de estiaje en los meses de mayor consumo.

Se utilizó varios métodos de investigación que han ayudado en el transcurso de toda la elaboración del proyecto profesional de grado, iniciando con la recolección de la información técnica del desarrollo del equipo de este tipo y el análisis de la información técnica que puede ser útil en el presente proyecto. Como también métodos matemáticos que ayudaron para la realización del diseño de los componentes mecánicos que conforman la Aerobomba, empleando ecuaciones, conceptos, principios, definiciones, leyes o normas generales.

El sistema conversor de energía empieza a bombear agua a una velocidad de viento de 6.1 m/s. cabe mencionar que la rotación del rotor se acciona a través de la biela y por medio de los vástagos instalados en el interior de la tubería, la bomba de pistón situada en el fondo del pozo el cual dispone de un pistón y un sistema de válvulas que, de forma coordinada con el movimiento transmitido por los vástagos, van impulsando el agua por el interior de los tubos hasta la superficie para desembocar en un depósito.

Además se realizó un estudio de suelos para determinar la demanda de agua, partiendo de las características que presentó el suelo dando como resultado un caudal de $12.6 \text{ m}^3 / \text{día}$. Para satisfacer las necesidades de riego se utilizó un sistema de riego tecnificado (goteo) el cual presenta una eficiencia del 90% llegando a determinar que por cada planta se necesitaría 3 goteros a una distancia de 1.6 m. de planta a planta.

En donde se necesita una fuerza de 348.4 N del rotor para que el sistema hidráulico entre en funcionamiento, en donde el rotor presenta una potencia disponible de 805.8 N. Con la cual se determinó el diámetro del rotor que es de 2.5 m. con un número de palas igual a 12 de espesor igual a 1.6 mm en acero galvanizado. Con una área de barrido de 4.9 m.

INTRODUCCIÓN

El mundo es cada vez más tecnificado, donde la tecnología y la industria adquieren un papel muy importante y es por esto que en los últimos años se han creado organizaciones internacionales encargadas de velar por el cumplimiento y control de algunos lineamientos, a fin de disminuir los daños provocados por el uso indiscriminado de las reservas y fuentes de energía.

La razón principal del desarrollo de esta Aerobomba es que son las encargadas de transformar la energía cinética del viento en energía mecánica que pone en movimiento el sistema que junto con el viento generado por el ambiente bombea el agua, el mismo que es un aporte para la comunidad.

El desarrollo de este tema, se llevó a cabo para facilitar el cálculo necesario para el diseño, construcción y montaje de una Aerobomba, usando herramientas de diseño de mecanismos para realizar el análisis cinemático, dinámico, estructural y la simulación de dicho mecanismo para comprobar los resultados con información útil para todos aquellos interesados.

Existen diversos tipos de Aerobomba, pero este estudio se refiere a las Aerobombas de eje horizontal de giro lento, así también de todos los factores que conlleva en sí al uso de este tipo de Aerobomba y su aplicación.

Las máquinas de eje horizontal pueden ser lentas o rápidas, según sea la velocidad típica de la punta de la pala, definida a través de su velocidad específica en este caso solo describiremos la de giro lento por ser la más adecuada para el bombeo de agua por las características citadas a continuación.

Son máquinas lentas las que tienen una velocidad específica entre 2 y 5m/s. Se caracterizan porque su velocidad de rotación es baja, por lo que tienen un gran número de palas, entre 12 y 24, que cubren casi toda la superficie del rotor.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 TEMA

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE BOMBEO EÓLICO CON EL FIN DE SATISFACER LAS NECESIDADES DE IRRIGACIÓN AGRÍCOLA EN LA PARROQUIA GARCÍA MORENO, PELILEO.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

En un contexto de disminución de la energía fósil, del aumento de la población mundial, la utilización de recursos energéticos primarios renovables menos contaminantes es una necesidad para satisfacer las necesidades crecientes de las sociedades modernas.

Entre otros, Ecuador posee un potencial eólico muy fuerte debido a la existencia de numerosos sitios donde se podría realizar este tipo de sistemas conversores de energía.

El objetivo de este proyecto es diseñar un producto para satisfacer la necesidad de riego en la agricultura, las necesidades de agua de las comunidades e individuos para mejorar la calidad de vida y gestionar de mejor manera los recursos locales. Un criterio es llegar lo más cerca al rendimiento máximo de los molinos comerciales para el desarrollo de un producto más barato y que estos sean fabricados en el país.

Pero en casi nada se hace por desarrollar nuevas tecnologías para mejorar la economía

de sus habitantes en especial de los agricultores de la región sierra en temporadas de sequía ya que es un problema grave en las zonas medias y altas en donde no tienen acceso a un sistema de riego.

Durante los últimos años, la provincia de Tungurahua en especial las zonas altas de Pelileo se han visto afectada por una prolongada sequía que ha causado estragos en los terrenos fértiles y sembríos del lugar, donde los agricultores han perdido grandes hectáreas de cultivos.

También se debe a la falta de control por parte de los agricultores en construir los canales de regadío ya que muchas veces el agua se desperdicia cuando se filtra por los bordes y riega partes donde no existen sembríos.

La existencia de varias lavadora de Jeans hace que estos se aprovechen del agua conduciendo el agua por tanqueros así mejorando su economía y perjudicando a los agricultores ya que por la falta de conocimiento en sistemas de riego convencionales hace que se continúe con el problema de estiaje.

La acequia “El Porvenir” es un importante aporte para atender la gran demanda de agua para el riego que es captada del río Pachanlica alcanzando un caudal de 350 l/s. la misma que debe abastecer a 12 comunidades del Cantón con tiempos de riego que van de 2 a 3 meses.

El sistema de uso y distribución de riego que es manejado de una manera ancestral, por esta razón los agricultores en los últimos años han visto una escasez acelerada y la falta de agua para sus cultivos, siendo esto uno de los factores principales para la reducción de sus ingresos económicos para sus familias y el desarrollo social de su población.

Es por esta razón que se ha visto en la necesidad de realizar un estudio para generación de agua de regadío mediante la utilización de las energías renovables (viento)

Ya que a pesar de la escasez de agua y sus implicaciones en el riego, el Cantón Pelileo es uno de los principales abastecedores de alimentos en el Ecuador.

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO

Con los antecedentes expuestos es una necesidad importante plantear un estudio de un sistema de conversor de energía ya que es necesario fomentar la realización de este tipo de estudio de aprovechamiento energético alternativo tendientes a disminuir el requerimiento de energía a partir de los combustibles fósiles.

El presente trabajo de investigación pretende realizar el estudio a profundidad de este tipo de sistemas de bombeo eólico orientado a presentar un estudio aplicable a los alrededores del cantón Pelileo, mediante pruebas de campo para medir las velocidades del viento y el caudal de las vertientes empleando para ello instrumentos de medición y a su vez confrontando los resultados obtenidos con los valores y criterios referenciales.

Su finalidad es presentar un análisis con conclusiones que permitan más adelante servir de base para el planeamiento y ejecución de estudios de aprovechamiento de los recursos renovables así como para otros fines diversos. Es deseable la confrontación de la investigación con la mayor cantidad de estudios previos y fuentes de consulta al respecto.

1.2.3 PROGNOSIS

En caso de no llevarse a efecto el estudio propuesto no se dispondrá del soporte básico para la posterior realización de proyectos de aprovechamiento de los recursos renovables en el cantón Pelileo en general.

Además es importante señalar que el estudio pretende servir como fuente de referencia para otro tipo de estudios enfocados a contribuir con el desarrollo de nuevas fuentes de generación energética no contaminante y por consiguiente de no ser realizado se continuará con el estancamiento del país en cuanto al desarrollo de la investigación científica debido al insuficiente apoyo gubernamental, institucional y de inversión privada.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En síntesis el problema surge por el desconocimiento del Potencial eólico Aprovechable en el cantón Pelileo debido a que no se dispone de información cualitativa y cuantitativa de las áreas que no tienen acceso a un sistema de riego.

Consecuentemente el presente proyecto de investigación tiene como problema a dar solución, el siguiente:

¿Será el potencial eólico del cantón Pelileo, Parroquia García Moreno el adecuado para la implementación de un sistema conversor de energía eólica que satisfaga las necesidades de agua de regadío de esa región?

1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES

- ✓ ¿Existen en el país estudios específicos acerca de estos sistemas conversores de energía y de qué tipo son los estudios que se han hecho al respecto o en relación al tema planteado?
- ✓ ¿El estudio a realizar se debe enfocar estrictamente a la evaluación de campo o debe incluir un amplio análisis del enfoque teórico?
- ✓ ¿Qué consideraciones técnicas se tienen que establecer para la realización del estudio propuesto?
- ✓ ¿Se dispone de los instrumentos adecuados y fuentes de consulta suficientes para la realización del proyecto investigativo?
- ✓ ¿Cómo se debe analizar cualitativamente el estudio de estos sistemas de bombeo eólico?

1.2.6 DELIMITACIÓN

1.2.6.1 Contenido.

La investigación propuesta abarca varias áreas del conocimiento y de la Ingeniería. Entre ellas se menciona las siguientes:

Ciencias Físicas y de la Ingeniería: Energías Alternativas, Diseño 1, Diseño2, Estructuras metálicas, Estadística, hidráulica, Meteorología, entre otras.

Ciencias Exactas como las Matemáticas y Materiales

Conocimientos auxiliares: Suelos, Gestión de Proyectos.

1.2.6.2 Espacial.

El estudio se desarrollará en el barrio La Libertad, Parroquia García Moreno, cantón

Pelileo provincia Tungurahua, específicamente en terrenos de la familia Guananga Guevara.

1.2.6.3 Temporal.

El presente estudio se realizará en un lapso aproximado de 3 meses pudiendo extenderse unos cuantos meses más en dependencia de las condiciones anexas que deban examinarse a profundidad. Pero es importante señalar la ventaja que representa el hecho que el Ecuador prácticamente no presente cambio de estaciones del año.

1.2.6.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La importancia fundamental que tiene el presente proyecto radica en presentar un estudio cualitativo y cuantitativo de un sistema conversor de energía para irrigación agrícola en el cantón Pelileo parroquia García Moreno, para servir de fuente o sitio de partida para una posterior planificación de proyectos más diversos como generación de energía eléctrica, etc. utilizando las energías no renovables.

La Universidad Técnica de Ambato es el escenario indicado para realizar esta tarea pues se cuenta una biblioteca, como fuente de consulta que permita efectuar el estudio de temperatura, velocidad de viento y humedad. Contribuyendo a la puesta en marcha de proyectos investigativos de gran relevancia que es una de las funciones que debe cumplir un centro de estudios universitarios.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General.

Realizar un estudio cualitativo y cuantitativo de un sistema de bombeo eólico con el fin de mejorar los sistemas de irrigación agrícola en las zonas medias y altas de la parroquia García Moreno, Barrio La Libertad.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- ✓ Determinar la demanda neta de agua a bombear desde una altura h de bombeo en un periodo de tiempo dado.
- ✓ Conocer el consumo diario promedio (m^3 por día) y si es posible, su variación en diferentes épocas del año.

- ✓ Seleccionar el sistema conversor de energía que extraiga el agua para irrigación agrícola, a la profundidad donde se encuentra la fuente de agua más la elevación del punto donde se debe entregar
- ✓ Analizar cuantitativamente el comportamiento y dirección del viento, confrontar los resultados obtenidos por investigación de campo con las estimaciones de velocidades de viento.
- ✓ Examinar el potencial eólico, y el efecto que esta produce en un sistema de bombeo eólico para poder describir cualitativamente el comportamiento de estos sistemas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1.1 Antecedentes.

El mundo es cada vez más tecnificado, donde la tecnología y la industria adquieren un papel muy importante y es por esto que en los últimos años se han creado organizaciones internacionales encargadas de velar por el cumplimiento y control de algunos lineamientos, a fin de disminuir los daños provocados por el uso indiscriminado de las reservas y fuentes de energía.

La razón principal del desarrollo de este sistema de bombeo eólico es que son las encargadas de transformar la energía cinética del viento en energía mecánica que pone en movimiento el sistema que junto con el viento generado por el ambiente bombea el agua, para satisfacer las demandas en los meses de mayor consumo a causa de la sequía.

Existen diversos tipos de Aerobomba, pero este estudio se refiere a las Aerobombas de eje horizontal de giro lento (multipalas), así también de todos los factores que con lleva en sí al uso de este tipo de sistemas conversores de energía y su aplicación.

Las máquinas de eje horizontal pueden ser lentas o rápidas, según sea la velocidad típica de la punta de la pala, definida a través de su velocidad específica.

En la actualidad existe documentación relacionado a este tema, que nos ayudara a la selección del tipo de sistemas de bombeo eólico en función de las condiciones climáticas del lugar.

UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA PARA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD Y ALMACENAMIENTO EN BATERÍAS.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

ENERGÍAS ALTERNATIVAS Y MEDIO AMBIENTE

ENERGÍA EÓLICA

Revistas tecnológicas.

Conceptos sobre diseño y manejo de riego presurizado.

2.2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1.1 Principio básico de los sistemas de bombeo.

Las máquinas para la captación de la energía del viento, conocidas como molinos de viento o Aerobombas, es una de las máquinas más antiguas construidas por el hombre.

No existe un acuerdo o certeza total en cuanto al lugar donde aparecieron los primeros molinos o quien fue su inventor. Algunos estudiosos dicen que fue una idea del célebre inventor griego Herón de Alejandría por el siglo I antes de la era cristiana. Otros opinan que aparecieron en Persia, en el siglo VII de nuestra era. Luego, los árabes adoptaron este ingenioso mecanismo, el que fue llevado a Europa por los cruzados. Fue así como durante la Edad Media los molinos de viento alcanzaron un gran auge en Europa.

Además de emplearse para el riego y moler el grano, los molinos construidos entre los siglos XV y XIX tenían otras aplicaciones, como el bombeo de agua en tierras bajo el nivel del mar, aserradores de madera, fábricas de papel, prensado de semillas para producir aceite, así como para triturar todo tipo de materiales¹.

2.2.1.2 Funcionamientos del molino de viento.

El giro del rotor se acciona a través de la biela y por medio de los vástagos instalados en el interior de los tubos, la bomba de pistón (situada en el fondo del pozo) dispone de un pistón y un sistema de válvulas que de forma coordinada con el movimiento transmitido por los vástagos van impulsando el agua por el interior de los tubos hasta la superficie para desembocar en un depósito.

Una de las características principales de las bombas de pistón es que en caso de que el

¹ www.aerobombas.com

pozo quedara con un nivel de agua inferior al previsto para la bomba, esta seguiría bombeando agua y aire sin resultar perjudicada.

Aplicaciones de los molinos de viento.

- ✓ Suministro de Agua a Poblaciones.
- ✓ Suministro de Agua en la Agricultura y Ganadería.
- ✓ Trasvase de agua entre embalses a distintos niveles
- ✓ Suministro de agua a industrias. etc.

2.1.2.3 Características generales del clima en el Ecuador.

El Ecuador está situado al Noroeste de América del Sur, entre los 01° 28' de Latitud Norte y 05° 01' de Latitud Sur y desde los 75° 11' en la planicie Amazónica hasta los 81° 01' de longitud Oeste. El territorio del Ecuador está dividido en tres regiones naturales claramente definidas entre sí, ya sea por su topografía, clima, vegetación y población.

Debido a su posición geográfica y a la diversidad de alturas impuesta por la cordillera de los Andes. Ecuador presenta una gran variedad de climas y cambios considerables a cortas distancias. Nuestro País está ubicado dentro del cinturón de bajas presiones atmosféricas por esta razón ciertas áreas del Ecuador reciben la influencia alternativa de masas de aire con diferentes características de temperatura y humedad. ²

Factores que controlan las condiciones climáticas.- Las características climatológicas del Ecuador como las de cualquier otra parte del planeta, responden a una diversidad de factores que modifican su condición natural, como:

- ✓ Latitud geográfica
- ✓ Altitud del suelo
- ✓ Dirección de las cadenas montañosas
- ✓ Vegetación. Etc.

Variables principales del clima.- Entre las variables principales del clima se tiene:

- ✓ Temperatura

² www.Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología - INAMHI.com,

- ✓ Humedad
- ✓ Lluvia
- ✓ Evaporación
- ✓ Dirección y fuerza del viento
- ✓ Radiación solar, etc.

2.1.2.3 El viento.

Se define como aire en movimiento, es un elemento meteorológico que consta de dos parámetros: Dirección e intensidad.

La dirección se mide por un instrumento llamado "Veleta" y la intensidad con un "Anemómetro"

El viento es el desplazamiento horizontal de las masas de aire, causado por las diferencias de presión atmosférica, atribuidas a la variación de temperatura sobre las diversas partes de la superficie terrestre. Es decir las distintas temperaturas existentes en la tierra y en la atmósfera por la desigual distribución del calentamiento solar y las diferentes propiedades térmicas de las superficies terrestres y oceánicas, producen corrientes de aire. Las masas de aire más caliente tienden a subir y en su lugar se ubican masas de aire más denso y frío³.

Características del viento.

Son la intensidad y la dirección. La primera se mide según la escala de Beaufort

Tabla 2-1 Escala Beaufort para la medición cualitativa de la velocidad de viento

Escala Beaufort		
1	Vel. viento en m/s.	Características
2	1.8 – 3.3	Perceptible a la cara
3	3.4 – 5.2	Leve movimiento de hojas
4	5.3 – 7.4	Leve movimientos de ramitas
5	7.5 – 9.8	Se oye silbar el viento

Fuente: JOBER molinos de viento para bombeo de agua

Medición del viento.

La velocidad (intensidad) del viento se mide con el anemómetro, que es un molino de tres brazos, separados por ángulos de 120°, que se mueve alrededor de un eje vertical.

³ www.PortalCiencia_Viento Origen y clasificacion.com,

Los brazos giran con el viento, accionan un contador que indica en base al número de revoluciones, la velocidad del viento incidente.



Fig. 2.1 Anemómetro, Sensor de velocidad y dirección del viento

Fuente: Egdo. Daniel Guananga

2.1.2.4 Energía.

Se conoce como energía eólica al aprovechamiento de la energía del viento. La energía cinética del movimiento de las moléculas de aire puede ser convertida en energía mecánica por el rotor.

Energía eólica.

Es la energía contenida en el viento, pues las masas de aire al moverse contienen energía cinética (aquella asociada a los cuerpos en movimiento), las cuales al chocar con otros cuerpos aplican sobre ellos una fuerza. Por eso cuando nos enfrentamos a una ráfaga de viento sentimos que una fuerza nos empuja.

Los usos comunes de la energía eólica son:

- ✓ Aerogenerador (pequeñas o medianas potencias eléctricas)
- ✓ Aerobomba (bombeo usando el viento)
- ✓ Extractor (recirculación del aire)
- ✓ Molino (molienda de grano)

Forma de aprovechamiento de la energía eólica.

La forma de aprovechamiento consiste en transformar la energía eólica en energía mecánica. La energía del viento se ha utilizado esencialmente en molinos de viento, los cuales han permitido principalmente el bombeo de agua, la trilla y molienda de productos agrícolas y en los últimos años, generación de energía eléctrica.

Las características básicas, que permiten analizar la aplicación de la energía eólica son las siguientes:

- ✓ Zona de emplazamiento.
- ✓ Velocidad del viento: módulo y dirección

El aprovechamiento de la energía eólica constituye una alternativa muy importante y competitiva, por lo que es mucha en la actualidad su aplicación a nivel mundial, de esta manera se remplazará los combustibles tradicionales, sin originar contaminación en el medio ambiente.

2.1.2.5 Principio de funcionamiento.

El sistema de captación consta de un rotor multipalas que proporciona un elevado par de arranque. El ángulo de ataque de las palas es fijo y la regulación se realiza casi siempre por medio de una superficie plana colocada, a modo de pala, en el mismo plano que el rotor y por tanto perpendicular a la dirección del viento.

Es preciso destacar que este sistema de producción de energía mecánica tiene el inconveniente de no funcionar con vientos débiles o muy fuertes. Por lo tanto debe ser utilizado en zonas con vientos moderados y regulares.

La Aerobomba va generalmente acoplada a una bomba de pistón situada en el interior de un pozo o un lugar donde se capte el agua, la cual es accionada por el tren de vástago movido mediante un sistema biela manivela.

Bombeo eólico.

La aplicación de bombeo de agua con energía eólica tiene dos posibilidades, un molino de multipala americano típico donde lo que prevalece es el torque para accionar la bomba mecánica; o, un aerogenerador eléctrico que se conecta directamente a una bomba que se diseña para una frecuencia similar al generador.

El bombeo eólico se puede llevar a cabo mediante:

➤ **Bombeo con aerobomba.⁴**

La energía del viento mueve directamente el eje de una bomba sumergida. El agua extraída se puede almacenar en un depósito. Este sistema puede fabricarse localmente a un bajo costo, se aplica cuando la velocidad media del viento es menor a 4,77 m/s

➤ **Bombeo directo.**

El molino acciona eléctricamente una bomba en función de la capacidad del viento actuante.

➤ **Sistema eólico para “bombeo de agua”.**

Una Aerobomba es un molino con un elevado momento de torsión y de baja velocidad, se usan con mayor frecuencia en las regiones rurales. Las Aerobombas para bombeo se emplean sobre todo para drenar agua del subsuelo. Estas máquinas se valen de una pieza rotatoria multipalas que parten de un eje horizontal que tiene de 6 a 24 palas según los tipos y según los diámetros, los diámetros suelen ir de 1.6 a 6m. La pieza rotatoria se instala sobre una torre lo bastante alta como para alcanzar el viento. Una larga veleta en forma de timón dirige la rueda hacia el viento.

➤ **Bombeo mecánico del agua.**

Una de las formas para el bombeo del agua consiste en la utilización de una bomba a pistón, que provoca la aspiración en la tubería sumergida y la expulsión hacia un depósito de acumulación.

Es necesario para lograr este objetivo, conectar la bomba a un dispositivo, en general es preferible que el bombeo se efectúe en forma lenta, a fin de reducir resistencia a la circulación del agua por las cañerías.

Por ello en la aplicación mecánica de los sistemas eólicos para bombear el agua, no se requiere una velocidad de giro del rotor elevada, debiendo contar, sin embargo, con un alto par de arranque, para vencer la inercia del equipo.

⁴ www.Bombeo eólico, Molinos de viento, Aerobombas.com,

Los molinos tipo multipalas convencionales, cumplen con estas condiciones contando con un alto par de arranque y puede funcionar también con vientos muy débiles.

2.1.2.6 Aerobomba.

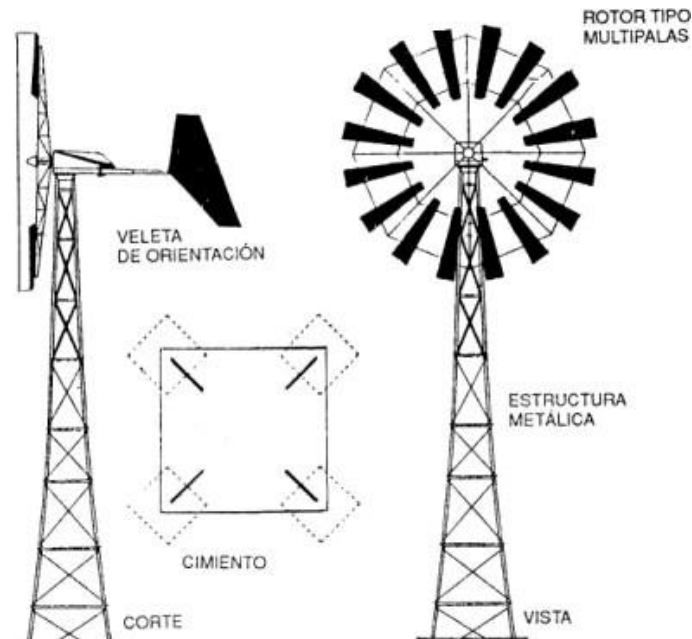


Fig. 2.2 Esquema Aerobomba.

Fuente: www.molinosdeviento.com.

La Aerobomba es una máquina que transforma la energía cinética del viento en energía aprovechable. Esta energía proviene de la acción de la fuerza del viento sobre unas aspas oblicuas unidas a un eje común. El eje giratorio puede conectarse a varios tipos de maquinaria para moler grano, bombear agua o generar electricidad. Cuando el eje se conecta a una carga, como una bomba, recibe el nombre de Aerobomba, si se usa para producir electricidad se le denomina aerogenerador.

Esta bomba dispone de un pistón y un sistema de válvulas que de forma coordinada con el movimiento transmitido por los vástagos, van impulsando el agua por el interior de los tubos hasta la superficie para desembocar en un depósito.

Las Aerobombas actuales se han ido construyendo de acero inoxidable o con las aspas formadas con listones de madera que pueden abrirse con los bordes al viento. Las grandes aspas se han ido reemplazando por un número mayor de paletas dispuestas en forma de rueda, y la torre soporta la tornamesa que posee una cola de orientación.

Las Aerobombas se mueven por dos procedimientos: el arrastre, en el que el viento empuja las aspas, y la sustentación, en el que las aspas se mueven de un modo parecido a las alas de un avión a través de una corriente de aire.

Funcionamiento de la Aerobomba.

La Aerobomba transforma la energía eólica en energía mecánica, esta mueve una bomba normalmente de émbolo que trasvasa el agua desde un lugar a otro, aunque estén a distinto nivel.

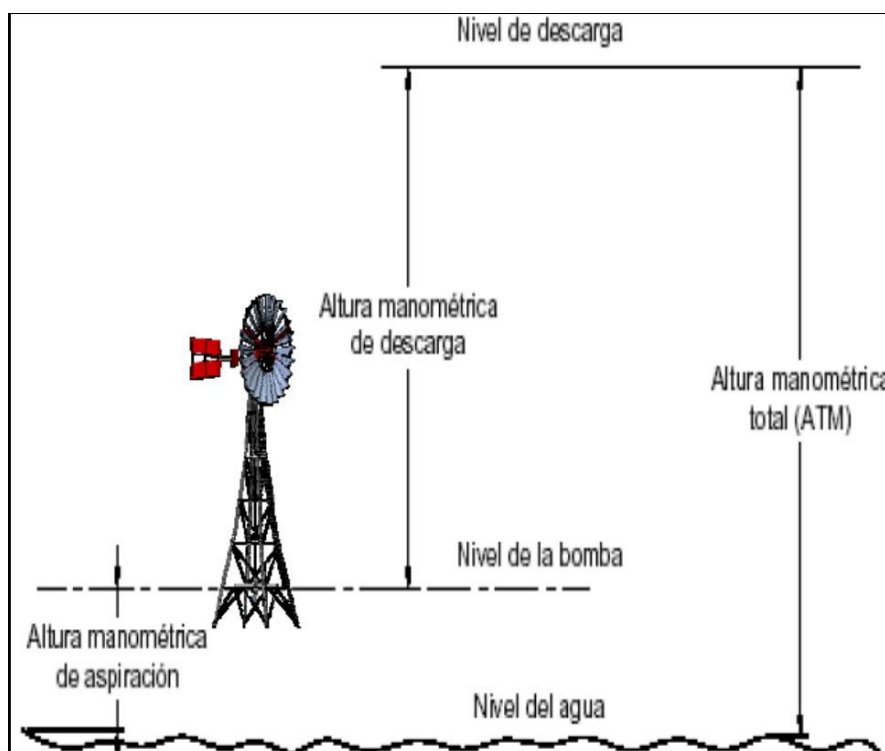


Fig. 2.3 Funcionamiento de la Aerobomba.

Fuente: www.aerobombas.com.

La Aerobomba aprovecha la energía eólica por medio de grandes aspas o paletas acopladas a un eje. Las aspas se colocan en ángulo con respecto a la dirección de las corrientes de viento naturales, pudiendo girar en círculo aun cuando se encuentren perpendiculares a su fuente de energía.

Sistemas de bombeo eólico.

Un gran número de sistemas de captación de energía eólica han sido patentados, algunas

veces puestas a punto y realizados a nivel de prototipo; no obstante pocos de ellos se han generalizado.

Efectivamente, desde el momento en que se dispone de un artefacto que permita originar unas fuerzas simétricas con relación a un eje, se puede obtener un movimiento (de rotación, de traslación, bombeo)

❖ **Molino de viento multipala tradicional.**

Este es el más común de los molinos de viento, su desarrollo tuvo lugar entre 1850 y 1930 y es conocido comúnmente como el molino de viento americano (American Farm Windpump).



Fig. 2.4 Sistema de bombeo de primera generación.

Fuente: Tecnologías energéticas renovables CENSOLAR.

Este tipo de máquina aprovecha la potencia del viento con un rotor compuesto por un rango de doce a veinticuatro palas o más, que mueve una bomba de pistón mediante una barra vertical. El acoplamiento entre el rotor y la barra se realiza por un mecanismo de biela y manivela con reducción por medio de engranes. La utilización de la caja reductora hace más versátil la máquina y la adecuada para trabajar con agua a grandes profundidades.

Por otro lado, la baja velocidad de trabajo hace a la máquina más fiable debido al menor desgaste por fricción de los elementos de la bomba y disminuyen las roturas por fatigas.

El diámetro del rotor de estos molinos oscila entre 2 y 5 m, pudiendo llegar excepcionalmente hasta 10 m. Estas máquinas pueden ser instaladas en sitios con bajas

velocidades del viento, entre 2 y 5 m/s.

A pesar de las bondades de estos molinos, poseen una serie de problemas, como son:

La construcción es muy pesada debido a las necesidades del alto par de arranque (torque) requerido por la bomba, y en otros casos por el uso de una tecnología de fabricación obsoleta, lo que influye en los altos costos, tanto de la propia máquina como en el transporte e instalación.

El molino de viento debe ser ubicado sobre el pozo o cercano a él; es decir, no tiene flexibilidad para instalar separadamente el rotor y la bomba. Esto ocasiona serios problemas en el caso de terrenos que no son llanos.

Tiene poca resistencia al polvo y a la arena que penetran en el mecanismo de transmisión. Y el agua salubre puede reducir considerablemente la vida útil de los sellos de la bomba (de 6 a 12 meses).

La tecnología no es fácil de reproducir en países con bajo desarrollo industrial.

La eficiencia general es muy baja, principalmente debido al pobre diseño del rotor, al incorrecto acoplamiento entre el par entregado por el rotor necesitado por la bomba, y el comportamiento del par de la bomba de simple efecto, caracterizado por una alta razón entre el par máximo y el par promedio (pulsación del par). La eficiencia global promedio, definida como la razón entre la energía hidráulica neta producida y la energía disponible en el viento, se encuentra normalmente entre 2 y 5 %.

Los principales esfuerzos para aumentar la eficiencia están dirigidos a reducir los efectos de las pulsaciones del par, por medio de bombas de doble efecto (bajas cargas) y por el balanceo del peso de la barra mediante contrapesos y muelles.

Un esfuerzo muy importante se realiza con la introducción de un mecanismo reciprocante variable para incrementar el par entregado a la bomba a medida que aumenta la velocidad de rotación. Igualmente se trabaja en el mejoramiento de la aerodinámica de las palas. Un aumento de 30 a 100 % puede esperarse en el volumen de agua bombeada con la aplicación de estos mecanismos.

Otras mejoras pueden incrementar la fiabilidad de estas máquinas, como son el uso de

cámaras de aire que reducen las ondas de choque en la carrera hacia arriba, y la utilización de sistemas de transmisión sellados y elementos de la bomba reemplazables que incrementan, en gran medida, la vida útil de la bomba.

En algunos casos la bomba que se acopla al molino es también de activación manual, con el fin de garantizar el suministro de agua en períodos de calma del viento.

Actualmente, los principales productores de estas máquinas en el mundo son Australia, África del Sur, Estados Unidos y Argentina. Este tipo de molino se conoce también en la literatura técnica como Aerobombas de primera generación.

❖ **Aerobombas de segunda generación.**

En un intento por superar las limitaciones que aún persisten en el molino tradicional para su aplicación extensiva en los países en desarrollo, ha surgido otro grupo de Aerobombas con diferentes características, a las que se les ha denominado Aerobombas de segunda generación.

La mayor parte de estas máquinas fue desarrollada después del año 1975 por varios fabricantes y organizaciones, como IT Power en Inglaterra, Gaviotas en Colombia, CWD en Holanda, Vita en Estados Unidos, CAAMS en China, entre otros.

Los objetivos del diseño de estas nuevas Aerobombas son, esencialmente, más bajo coste inicial, menor peso de la estructura, mayor eficiencia, y manufactura, producción y mantenimiento locales.

Estas modernas Aerobombas de bajo peso trabajan también con bombas de pistón y se caracterizan por el uso de materiales estándar, disponibles en el mercado (rodamientos, tuberías, angulares, etc.), la ausencia de elementos de fundición y de cajas reductoras.

Otro parámetro fundamental para disminuir el peso y el coste es la reducción del par de arranque de la bomba, lo que permite la utilización de pocos álabes (de 3 a 8 álabes para bajas cargas), por medio de un pequeño orificio en el pistón; de esta forma el par de arranque es casi nulo y la velocidad del rotor aumenta. El efecto de fuga de líquido por el orificio es despreciable.



Fig. 2.5 Sistema de bombeo de segunda generación.

Fuente: Tecnologías energéticas renovables CENSOLAR

La eliminación de la caja reductora hace que la bomba trabaje con mayor velocidad, lo que aumenta las cargas sobre la bomba y disminuye la vida útil si la máquina no ha sido diseñada adecuadamente. La vida útil estimada de estas máquinas es de sólo diez años, lo que contrasta apreciablemente con el molino tradicional, que en muchos casos alcanza más de cincuenta años.

Una de las desventajas fundamentales de este tipo de máquinas es que sólo son capaces de trabajar a bajas cargas, como consecuencia de las transformaciones del rotor y la transmisión.

❖ **Aerobombas de manufactura informal.**

Este tipo de Aerobomba se caracteriza por su simplicidad, y por su fabricación y explotación con materiales disponibles.

Los diseños pueden ser originales o modelos simplificados según los existentes, para adaptarlos a las disponibilidades locales.

Los materiales de construcción son de gran variedad. Pueden emplearse, por ejemplo, madera u otros materiales que se trabajan de forma artesanal con un mínimo de facilidades. La mayor parte de estas Aerobombas no usan caja reductora de velocidad, sino simplemente un cigüeñal rudimentario o un sistema de leva.



Fig. 2.6 Sistema de bombeo de manufactura informal.

Fuente: Tecnologías energéticas renovables CENSOLAR

No obstante, la fiabilidad y el comportamiento resultan pobres en la mayor parte de los casos. Las ventajas son los bajos costos y el fácil mantenimiento por el propio usuario.

La aplicación de estas máquinas está restringida para bajas cargas.

❖ **Aerobombas no convencionales.**

Bajo esta denominación se agrupan las Aerobombas cuyo diseño y formas exteriores de los tipos antes mencionados. Sus inventores, buscando máquinas más eficientes y simples a la vez, utilizan tecnologías de última generación, resultantes de investigaciones científicas en el campo de la aerodinámica, los nuevos materiales, la hidráulica, la mecánica, etc., que aportan como resultado máquinas típicas.

En este grupo se encuentran también las Aerobombas que retoman patentes que fueron desechadas en su momento y que pueden, con los adelantos de la ciencia, reutilizarse y mejorarse.

Ejemplo de las primeras son las Aerobombas tipo Delta, varias de ellas instaladas y en operación en el Centro Integrado de Tecnología Apropiada (CITA), de Camagüey.

Esta es una máquina con aletas en forma de delta, muy diferentes a las aspas que mueven los molinos tradicionales, porque son más cortas, se distribuye un número

mayor y se ubican en el perímetro del rotor⁵.



Fig. 2.7 Sistema de bombeo no convencional tipo Savonius.

Fuente: Tecnologías energéticas renovables CENSOLAR.

Los resultados alcanzados indican mayor entrega de agua en las mismas condiciones que otras Aerobombas similares.

Al segundo grupo pertenecen los conocidos molinos tipo Savonius, máquina patentada a principios del siglo XIX y retomada en los comienzos de la crisis petrolera de los años setenta, que por su alto torque de arranque permite extraer agua de mayores profundidades. Son, además, muy simples y fáciles de fabricar.

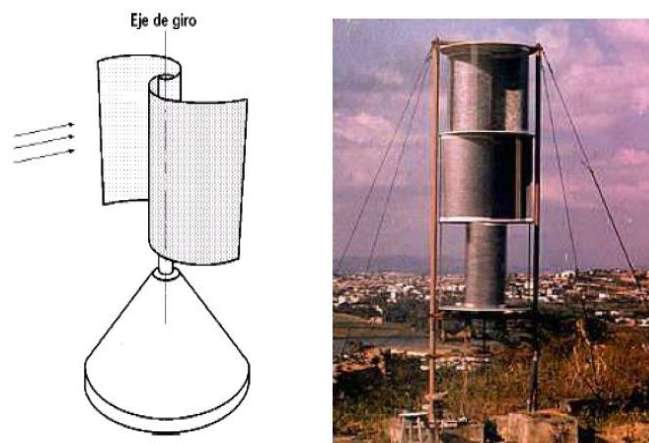


Fig. 2.8 Sistema de bombeo no convencional tipo Savonius.

Fuente: Tecnologías energéticas renovables CENSOLAR.

❖ Sistema avanzado de bombeo eólico-eléctrico.

⁵ www.AEROBOMBAS.com,

- ❖ En los países desarrollados hay un gran número de productores de aerogeneradores que recomiendan el uso de sus equipos acoplados a electrobombas para el traslado de líquidos, los denominados sistemas avanzados de bombeo eólico-eléctrico.

Estos se componen de un aerogenerador que produce potencia eléctrica y alimenta al motor eléctrico, el cual mueve una bomba con baterías o sin ellas, y otros equipos de conversión de potencia.



Fig. 2.9 Sistema de bombeo eólico – eléctrico.

Fuente: Tecnologías energéticas renovables CENSOLAR.

Las principales ventajas con respecto a los sistemas mencionados anteriormente son: Mayor flexibilidad en cuanto a la ubicación; o sea, se puede ubicar el aerogenerador en el lugar de más fuerte viento, aun cuando éste no coincida con el lugar del pozo.

- ✓ Mayor eficiencia de bombeo (de 10 a 12 %).
- ✓ Incremento del volumen de agua bombeada y mayores cargas (de 10 a 40 m) debido a la posibilidad de usar rotores de mayor diámetro.
- ✓ Mayor versatilidad en su uso (bombeo, iluminación).
- ✓ Menor requerimiento de mantenimiento.
- ✓ Mayor fiabilidad.

Las desventajas principales son:

- ✓ Mayor coste de la inversión inicial.
- ✓ Para la instalación y el mantenimiento se necesita personal especializado.
- ✓ Necesita mayores velocidades del viento para operar ($v > 4$ m/s).

La clasificación expuesta intenta sistematizar la amplia gama de molinos de viento que se producen en la actualidad. Y se puede concluir que los sistemas avanzados de bombeo eólico-eléctrico son más adecuados para regímenes de viento entre medios y altos, y uso de gran potencia; mientras que los sistemas mecánicos resultan más convenientes para regímenes de viento entre bajos y medio, y aplicaciones de baja potencia⁶.

Elementos de un sistema de aerobombeo.

➤ **El rotor eólico.**

El cual extrae la energía cinética del viento y la convierte en energía rotacional. La energía rotacional mecánica en el eje del rotor eólico es convertida en un movimiento oscilatorio ascendente descendente a través de la transmisión. La cual consiste en un sistema biela-manivela para excitar el vástago que mueve la bomba de pistón con acción directa.

El rotor es la parte más importante de los autogiros, se puede definir como un "Sistema de perfiles aerodinámicos giratorios", sobre estos perfiles actúa fuerzas estáticas, fuerzas dinámicas y fuerzas aerodinámicas.

a) **Fuerzas estáticas.**- Son las que actúan sobre el rotor aun cuando está parado y dependen de la buena geometría del rotor.

b) **Fuerzas dinámicas.**- Actúan sobre el rotor desde el mismo instante que este empieza a girar sobre su eje, la más importante es la fuerza centrífuga.

c) **Fuerzas aerodinámicas.**- Son las actúan sobre el rotor por la acción del viento relativo sobre las palas.

⁶ <http://www.cubasolar.cuba>

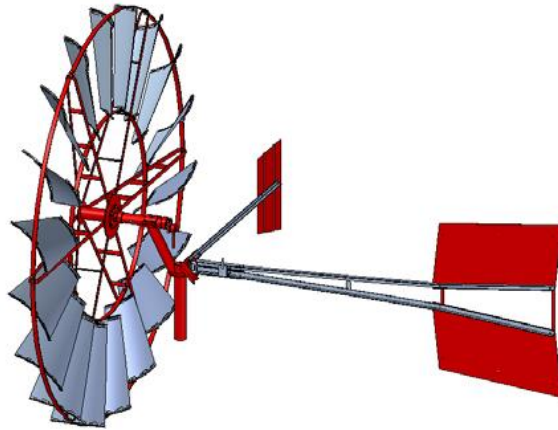


Fig. 2.10 Cabezote del molino de viento.

Fuente: JOBER molinos de viento para bombeo de agua.

➤ **Sistema de Transmisión⁷.**

Mecanismo biela-manivela acoplado directamente al eje del rotor. La transmisión convierte el movimiento rotacional del rotor en movimiento trasnacional alternativo vertical en el vástago de la bomba, el rotor está solidario al sistema de transmisión por medio de un disco, la conexión del movimiento del eje a la bomba se realiza mediante un mecanismo de biela manivela montado directamente sobre el eje del rotor que produce un desplazamiento oscilante en sentido vertical del émbolo.

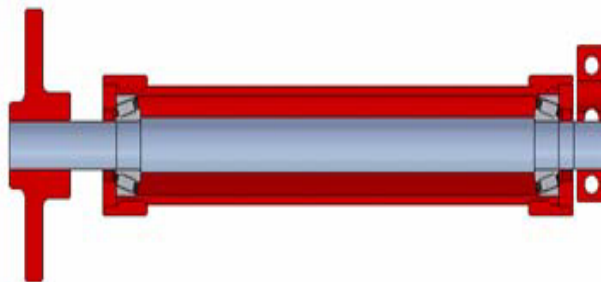


Fig. 2.11 Sistema de transmisión.

Fuente: JOBER molinos de viento para bombeo de agua.

➤ **Mecanismo de orientación o veleta.**

Mantiene la Aerobomba frente al viento, pero lo desorienta cuando el viento sopla muy fuerte y se recupera progresivamente cuando disminuye la fuerza del viento. Es un sistema mecánico, perfectamente balanceado y paralelo al suelo actuando así de

⁷ www.molinosjober.com

contrapeso del rotor para equilibrio del equipo.

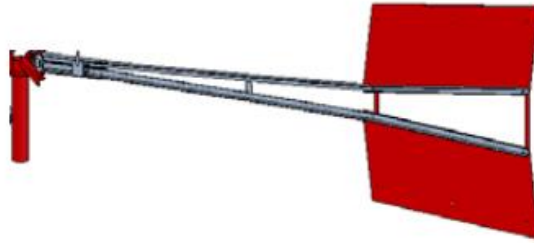


Figura 2-12 Mecanismo de orientación.

Fuente: JOBER molinos de viento para bombeo de agua.

➤ **Palas (aspas) del Rotor.**

Capturan la energía del viento y transmiten su potencia hacia el mecanismo biela manivela.

Los componentes de una Aerobomba de eje horizontal son las palas, el elemento fundamental que capta la energía del viento, mediante la acción de las fuerzas aerodinámicas que transmiten su giro al eje.

➤ **Estructura de Soporte.**

La estructura de soporte generalmente es metálica, debiendo diseñarse especialmente para soportar la acción del viento más desfavorable, siendo sustentada por bases de hormigón.

Ventajas de las aerobombas.

- ✓ Suministro eficaz y confiable de agua.
- ✓ Son tan eficaces como sistemas de bombeo por motobombas.
- ✓ Son una buena opción cuando la necesidad de agua es poca.
- ✓ Es una tecnología que se ha ido mejorando, mantenimiento mínimo.

Características técnicas de las Aerobombas.

- ✓ Rotor multipala situado a barlovento con un número de palas variable según el diseño.

- ✓ Diámetro del Rotor según potencia y velocidad del viento.
- ✓ Dispositivos de control de velocidad de giro, orientación.
- ✓ Bomba de émbolo fabricada con acero inoxidable, la bomba es accionada desde el rotor a través de una varilla, que va por el interior del tubo que conduce el agua hasta la superficie.

Parámetros generales de diseño.

Los parámetros a tener en cuenta son los siguientes:

- ✓ Magnitud de la instalación (micro, pequeña, mediana o grande).
- ✓ Tipo de Aerobomba.
- ✓ Caudal mínimo a instalar.
- ✓ Estudio anemométrico.
- ✓ Facilidad de construcción y montaje.
- ✓ Costos.
- ✓ Masa aproximada (máquina, Aerobomba).

Aplicaciones de Aerobombas.

Como se ha visto las Aerobombas son las encargadas de transformar la energía cinética del viento en energía mecánica que ponga en movimiento algún sistema. El más habitual es mover una bomba de pistón para bombear agua de un pozo.

Es decir las Aerobombas son una buena solución para el riego en la mayoría de los casos, si la Aerobomba se ha fabricado según las condiciones de viento reinantes en el lugar de la instalación, velocidad de viento y caudal a suministrar.

2.2.2.6 Bombas.

Una Bomba hidráulica es un dispositivo que recibe energía mecánica de un motor impulsor y transfiere esta energía a un fluido que la atraviesa. Las bombas son máquinas usadas para mover fluidos a través de tuberías mediante diferentes transformaciones de energía.

La rotación del impulsor en el interior de la bomba crea un vacío dando lugar a una fuerza de succión que favorece la entrada del fluido en la bomba, dentro de la bomba se

incrementa la velocidad del fluido. El fluido que trae velocidad y por tanto energía en forma de energía cinética es expandido en el difusor de la bomba transformando la energía cinética en energía de presión al reducirse la velocidad del líquido⁸.

Selección de una bomba hidráulica.

Las bombas deben seleccionarse según el concepto del trabajo a realizar con base a:

- ✓ Presión máxima de trabajo.
- ✓ Rendimiento de la bomba.
- ✓ Precisión y seguridad de operación.
- ✓ Fácil mantenimiento.
- ✓ Máximo flujo.

Clasificación de las bombas hidráulicas.

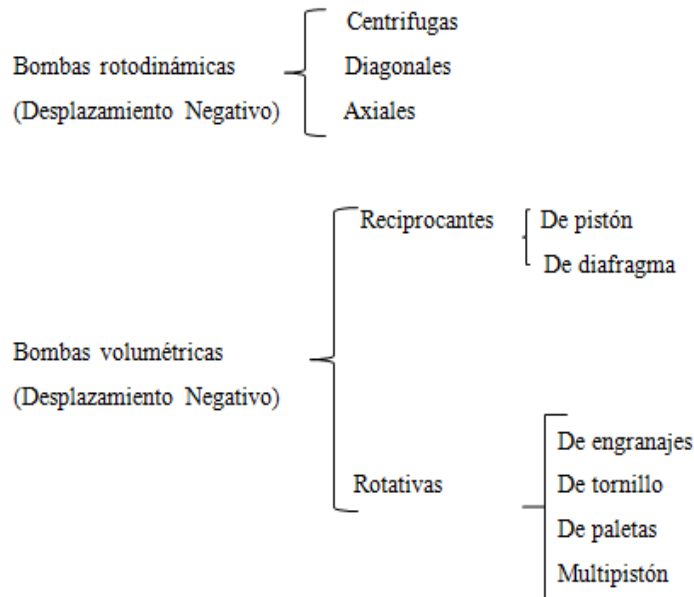
Existen muchos tipos de bombas y diferentes maneras de clasificarlas. La clasificación más difundida es la que reúne a dos grupos principales de bombas: las rotodinámicas (desplazamiento negativo) y las volumétricas (de desplazamiento positivo).

En las bombas rotodinámicas la energía es continuamente suministrada al fluido incrementando su velocidad, luego esa velocidad es reducida en el difusor de la bomba, produciendo un incremento de presión.

En las bombas de desplazamiento positivo la energía es periódicamente suministrada al fluido por la aplicación de fuerza directa sobre un volumen de líquido el cual incrementa su presión al valor requerido para moverse en la tubería de descarga.

Para una clasificación de los diferentes tipos de bombas hidráulicas, debemos conocer los términos más importantes para evaluar sus méritos.

⁸ Álvaro Aguinaga Barragán Ing. Msc. PhD., válvulas, compresores y bombas
www.Bombas hidraulicas.com.



Amplitud de presión.- Son los límites máximos de presión con los cuales una bomba puede funcionar adecuadamente.

Volumen.- Es la cantidad de fluido que una bomba puede entregar a la presión de operación.

Amplitud de la velocidad.- Se constituyen en los límites máximos y mínimos en los cuales las condiciones a la entrada y soporte de la carga permitirán a la bomba funcionar satisfactoriamente.

Eficiencia mecánica.- Se puede determinar mediante la relación entre el caballaje teórico a la entrada, necesario para un volumen específico en una presión específica y el caballaje real a la entrada necesario para el volumen específico a la presión específica.

Eficiencia volumétrica.- Se determina mediante la relación entre el volumen teórico de salida y el volumen real a cualquier presión asignada.

Eficiencia total.- Se puede determinar mediante el producto entre la eficiencia mecánica y la eficiencia volumétrica.

❖ **Bomba de pistón.**

Son utilizadas generalmente en la industria por su alto rendimiento y por la facilidad de poder trabajar a presiones superiores.

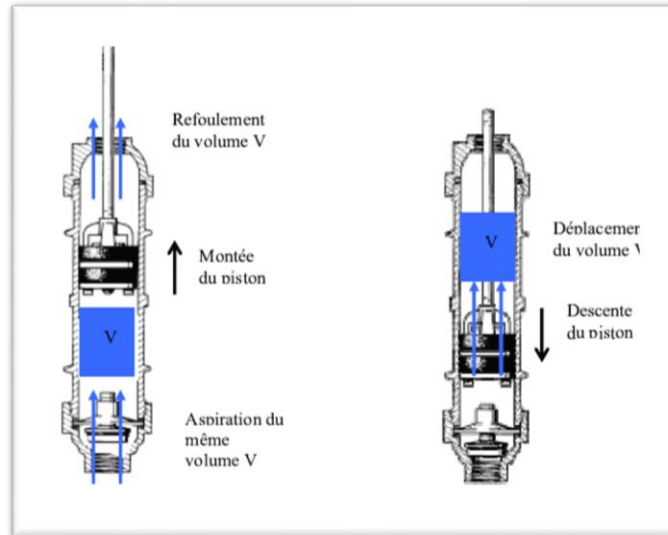


Fig. 2.13 Esquema de funcionamiento de una bomba de pistón

Fuente: www.bombas.com

Clasificación de las bombas de pistón.- Debido a la gran variedad de las bombas de pistón, estas pueden clasificarse:

- ✓ **Bomba de pistón radial.-** El pistón se desliza dentro del cuerpo de la bomba que gira alrededor de una flecha.
- ✓ **Bomba de pistón axial.-** El pistón se mueve dentro y fuera sobre el plano paralelo al eje de la flecha impulsora.
- ✓ **Bomba de pistón de barril angular.-** Las cargas para impulsión de la bomba y las cargas de empuje por la acción del bombeo van soportadas por tres cojinetes de bolas de hilera simple y un cojinete de bolas de hilera doble.
- ✓ **Bomba de pistón de placa de empuje angular.-** Este tipo de bomba incorpora zapatas de pistón que se deslizan sobre la de leva.

Aplicaciones de la Bomba de Pistón.

Esta es la aplicación más habitual de las bombas de pistón, en las que se utiliza para bombear el fluido hidráulico que después accionará los diversos mecanismos.

Selección de bombas.- Se selecciona una bomba que opere con un rendimiento relativamente alto para las condiciones de funcionamiento dadas. Los parámetros que se deben investigar incluyen la velocidad específica, el tamaño del impulsor y la velocidad de operación.

Características de las bombas.

Las características hidráulicas son inherentes a cada tipo de bomba y están influidos por la densidad, viscosidad, tipo de accionamiento y tipo de control.

Las características mecánicas de las bombas son definidas por las condiciones de pérdidas, potencia y rendimiento.

Pérdidas.

Las pérdidas de energía dentro de las bombas pueden clasificarse como:

- ✓ **Pérdidas volumétricas.**- Son producidas debido a la existencia de pequeñas separaciones entre la carcasa y el impulsor por donde pueden presentarse fugas.
- ✓ **Pérdidas hidráulicas.**- Consisten en pérdidas por fricción que se producen en la circulación del agua.
- ✓ **Pérdidas mecánicas.**- Son originadas por fricciones mecánicas en las partes fijas móviles de la bomba, creados por el líquido.

Potencia.

Para determinar la potencia absorbida por el motor, se divide la potencia absorbida por la bomba entre la eficiencia del motor:

$$P_m = \frac{P_i}{\eta_m} \quad (2.1)$$

Dónde:

P_i = potencia absorbida por la bomba.

P_m = Potencia del motor.

η_m = Rendimiento de motor.

Rendimiento de la bomba.

El rendimiento de una bomba generalmente varía entre 60% y 90 %. La eficiencia de una bomba se mide en base al caudal que se descarga contra una altura dada y con un rendimiento determinado⁹.

El rendimiento de la bomba viene dado por:

⁹ Guía para la selección de equipos de bombeo para sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento para el medio rural

$$\eta = \frac{\text{Potencia útil}}{P_i} = \frac{\gamma Q H_t}{75 P_i} \quad (2.2)$$

Dónde:

P_i = Potencia absorbida (HP).

γ = Peso específico del líquido a ser bombeado.

Q = Caudal (m^3/s).

H_t = Altura manométrica (m).

η = Rendimiento de la bomba.

Rendimiento volumétrico.- El rendimiento volumétrico expresa las fugas de líquido que hay en la bomba durante el proceso de compresión, fugas que se deben a las holguras existentes en el interior de los componentes de la bomba.

El rendimiento volumétrico es un factor de la bomba muy importante, pues a partir de él se puede analizar la capacidad de diseño y el estado de desgaste en que se encuentra una bomba, así si el rendimiento volumétrico disminuye con una alta tasa de cambio, el desgaste de sus elementos ya es demasiado.

El rendimiento volumétrico se ve afectado también por la presión del fluido hidráulico que se transporta y también por la temperatura del mismo.

- ✓ **Rendimiento mecánico.-** El rendimiento mecánico mide las pérdidas de energía mecánica que se producen en la bomba, debidas al rozamiento y a la fricción de los mecanismos internos. Es esencial evitar la fricción y el rozamiento en el interior de la bomba de tal manera que la energía que se comunica al eje de la bomba se invierta en el mayor grado posible en aumentar la presión del líquido y no en vencer rozamientos y fricciones excesivas entre las partes mecánicas de la bomba.
- ✓ **Rendimiento total o global.-** El rendimiento total o global es el producto de los rendimientos volumétrico y mecánico. Se llama total porque mide la eficiencia general de la bomba en su función de bombear líquido a presión, con el aporte mínimo de energía al eje de la bomba.

Así pues el rendimiento total se expresa como el consumo de energía necesario para producir la presión hidráulica nominal del sistema.

2.2.2.7 Selección de la aerobomba.

Hay varios tipos de bombas y rotores pero se enfocan a los que satisfagan los requerimientos para poder lograr nuestros objetivos con mejores resultados y a un bajo costo.

La Aerobomba se escoge en función de las necesidades del caudal de agua, características del terreno y la altura de bombeo, por cuanto posibilita seleccionar o especificar la máquina idónea para realizar el trabajo con la finalidad de diseñar el modelo más conveniente para su construcción.

Parámetros.

Se consideran los siguientes parámetros para la selección de Aerobomba a utilizar, son los que están relacionados con características que tiene que cumplir la Aerobomba dependiente del funcionamiento.

Dentro de los parámetros se tiene:

- ✓ Velocidad del viento.
- ✓ Rendimiento.
- ✓ Peso.
- ✓ Costo de construcción.
- ✓ Vida útil.
- ✓ Facilidad de montaje.
- ✓ Facilidad de mantenimiento.

Velocidad del viento.

Los datos de velocidad de viento serán tomados en el lugar que se vaya a implementar este sistema con aparatos meteorológicos (anemómetros), para nuestro estudio se realizó la adquisición de una pequeña estación meteorológica.

Rendimiento de una aerobomba.

El rendimiento tiene muchas variantes dependiendo de los factores que intervienen en su correcto funcionamiento:

- ✓ Velocidad del viento.
- ✓ Área de barrido del rotor.
- ✓ Tipo de rotor de la Aerobomba.

- ✓ Caudal entregado.

Estos elementos característicos de estudio no pueden ser considerados separadamente, y deben ir analizados en un contexto global, a fin de obtener una máquina con mejor rendimiento.

Peso de la Aerobomba.

El peso en las Aerobombas es de gran importancia ya que está relacionado con todos los elementos, los cuales serán apoyados en la torre.

Costo de construcción de Aerobomba.

Existen varios tipos de Aerobombas ya sea por su disposición de sus partes así como los materiales con los que son construidos, de estos dos factores dependen principalmente los costos de construcción y mantenimiento.

Facilidad de mantenimiento.

La vida útil de una bomba de tipo eólico se estima entre 10 y 15 años, con el mantenimiento de las partes móviles de la máquina, y del recubrimiento que se aplique a las partes externas como pintura corrosiva para evitar el deterioro por causas climáticas, éste se realiza con herramienta sencilla y puede ser hecho por el usuario reduciendo los costos operativos del equipo.

2.3 HIPÓTESIS

La cuantificación del recurso eólico permitirá su aprovechamiento, para bombeo e irrigación en época de sequía en la parroquia García Moreno. Pelileo

2.4 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

2.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE: Sistema de bombeo eólica.

2.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE: Irrigación agrícola.

2.4.3 TÉRMINOS DE RELACIÓN: Para satisfacer las necesidades.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

La presente investigación tiene un carácter predominantemente cuantitativo, pero también involucrará un estudio cualitativo, el enfoque es en base a las variables.

El estudio cuantitativo consiste en el manejo y análisis de datos numéricos obtenidos y teóricos. Las variables cuantitativas a utilizar de acuerdo a su función son de tipo cuantitativas continuas, porque trabajan con números reales, no se requiere que sean necesariamente números enteros. Un ejemplo es la medición de la velocidad del viento con el anemómetro.

3.2 MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Las modalidades de investigación que se ajustan al presente proyecto de estudio son las siguientes:

3.2.1 Investigación de campo.

Se utiliza este tipo de investigación debido a la naturaleza del proyecto, en el cual es necesario estar en el lugar mismo y a través de ello verificar e indagar las posibles causas que se está tratando solucionar, sin manipulación de las variables, permitiendo generalizar los resultados obtenidos a situaciones afines.

3.2.2 Investigación bibliográfica – documental.

En esta investigación se tiene como finalidad ampliar y profundizar las teorías y enfoques acerca del tema del proyecto mediante la utilización de libros, catálogos, textos, páginas electrónicas, normas vigentes, entre otros constituyen a una correcta orientación de la investigación, constituyendo un respaldo para los procedimientos a

llevar a cabo, con lo cual las teorías investigativas se comprobarán y justificarán.

3.2.3 Investigación experimental.

Será de gran utilidad este tipo de investigación, debido a que es un estudio donde se manipulan ciertas variables independientes para observar los efectos en las respectivas variables, con el propósito de precisar la relación causa - efecto

3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El estudio a realizar abarca varios tipos de investigación, entre los cuales se encuentran los siguientes:

3.3.1 Exploratorio. Puesto que la presente investigación dará lugar a la generación de la hipótesis que permita llegar a la solución del problema en estudio, por tratarse de un caso no ha sido estudiado anteriormente, brinda mayor apertura a explorar el lugar con mayor libertad y certeza para la ejecución del estudio.

3.3.2 Descriptiva. Constituye muy fundamental debido a que permite la descripción total y detallada del fenómeno de estudio, mide variables o conceptos con el fin de especificar las propiedades importantes del tema de análisis además hace énfasis en el estudio independiente de cada característica, es posible que de alguna manera se integren las mediciones de dos o más características con el fin de determinar cómo es o como se manifiesta el fenómeno

3.3.3 Explicativo. Resulta vital ya que se trata de un problema que da lugar que la teoría se correlacione con la práctica, y por lo tanto se verifique todos aquellos datos obtenidos por medio de cálculos matemáticos.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

El universo de estudio para el presente proyecto está constituido por las mediciones de las velocidades del viento y de los parámetros físicos y/o ambientales relacionados directa o indirectamente con estudio de este tipo se sistemas conversores de energía. Las magnitudes a medir serán las siguientes: temperatura, dirección, velocidad de viento.

Es decir, la población estará compuesta por el número de datos a tomar en relación a

dichas magnitudes o parámetros. La evaluación de los datos obtenidos permitirá generalizar o promediar valores, que a su vez mediante la aplicación de fórmulas que involucran ciertas constantes posibilitará conocer valores de otras magnitudes que no se pueden medir.

La muestra es la parte representativa de la población o universo, que permite generalizar los resultados obtenidos a partir de ella a todo el conjunto. El tipo de muestra que se ajusta al estudio propuesto es Muestreo de Campo.

La toma de los datos se hará mediante mediciones de campo durante un lapso necesario para determinar las variables en cuestión.

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Estudio de un sistema conversor de energía para bombeo.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas de instrumentación
Mecanismo de bombeo, conversor de energía eólica.	Geografía del lugar	Velocidad de viento	$V_{\text{inicio}} : 2 \text{ a } 3 \text{ m/s}$ $V : 6 \text{ a } 8 \text{ m/s}$.	observación: De Campo: Fichas y Formatos Anemómetro
	Patrón estacional	Temperatura	$T : 15 \text{ a } 18 \text{ } ^\circ\text{c}$.	
	Patrón diario de viento	Densidad del aire	$\rho : 1.22$	
	Potencial eólico	Presión atmosférica	$16 \text{ } ^\circ\text{c} = 0.988 \text{ kg/m}^3$.	

Tabla 3.1 Operacionalización de variable.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

3.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Irrigación agrícola en la Parroquia García Moreno, Pelileo.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas de instrumentos
Permite practicar la agricultura donde no es viable, intensifica y diversifica las cosechas, así como también contribuye el incremento del ingreso de los campesinos.	Caudal	Propiedades físicas	Densidad de agua = $1000\text{kg}/\text{m}^3$ $g = 9.81\text{m}/\text{s}$	OBSERVACIÓN: De Campo: Fichas y Formatos manómetro
	Alturas a bombear	Altura	15 m.	
	Topografía del terreno	Volumen	Bombeo a una altura de 15mts.	
	Área total a regar	Tipo y tamaño de cultivo.	Propiedades del suelo	
	Tiempo disponible de riego por día	Meses con mayor demanda	Sistema de riego más óptimo	

Tabla 3.2 Operacionalización de variable independiente.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

3.6 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para recopilar la información necesaria, se realizara mediante una pequeña estación meteorológica, el cual estará dotado de un Datta logeer, y un programa computacional que nos permite almacenar los datos en tiempo real.

3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.7.1 PLAN DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

- ✓ **Registro de datos.-** Mediante mediciones en fichas o formatos de campo, las magnitudes a registrar para el estudio del sistema conversor de energía, velocidad dirección del viento temperatura.
- ✓ **Revisión crítica.-** De la información recogida, para la velocidad del viento se recurrirá a emplear métodos estadísticos como la regresión de mínimos cuadrados para establecer valores promedios y que puedan ser generalizados.

- ✓ **Tabla de tabulación de datos.**- Elaborar tablas que permita presentar de mejor manera y de forma ordenada los datos con los cuales se trabaje.

- ✓ **Representación gráfica.**- Representar mediante gráficos el comportamiento de las variables, ya que constituyen un medio efectivo para la interpretación de los datos obtenidos.

3.7.2 PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El análisis de los resultados está basado en la información obtenida y registrada en las fichas de campo, gráficos tablas, enmarcándose en las premisas siguientes:

Determinación del potencial eólico aprovechable en la parroquia García moreno, en función de los resultados del estudio del sistema conversor de energía y confrontando con estudios previos y marco teórico.

Calculo hidráulico y mecánico de los diferentes elementos del sistema para bombeo de agua para comprobar o impugnar la hipótesis.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

“Estudio de un sistema de bombeo eólico, para satisfacer las necesidades de irrigación agrícola en el Barrio La Libertad, Cantón Pelileo”.

Para fortalecer la investigación ha sido necesario el análisis de diversos factores involucrados directamente en este trabajo investigativo.

- ✓ Determinación del caudal.
- ✓ Sistema de riego a utilizar.
- ✓ Tipo de plantación etc.

En el proceso de caracterización del viento intervienen diferentes aspectos que se describen a continuación.

- ✓ **Procedimiento de toma de datos:** Variables a medir, (velocidad y dirección), procedimientos de medición, frecuencia de muestreo, etc.
- ✓ **Técnica de medición:** Aparato de medida (anemómetro, veleta, etc.), colocación del instrumento de medida.
- ✓ **Métodos de tratamiento de datos:** Técnicas estadísticas, forma de presentación, distribución de probabilidad, etc.
- ✓ **Además de la determinación del caudal:** Sistema de riego (goteo) tipo de plantación, caudal necesario por día, área de plantación y tipo de suelo, etc.

4.4.1.2 Estudio de un método de riego eficiente.

Se considera eficiente un método de riego cuando el agua que se destina al cultivo es utilizada en un porcentaje superior al 70%. A continuación se muestra la siguiente tabla de los distintos métodos de riego con sus respectivas eficiencias.

Tabla 4-1 Métodos de riego con sus respectivas eficiencias.

Método de riego	Eficiencia de aplicación (%)
Surcos	45
Bordes rectos	50
Bordes en contorno	60
Aspersión	75
microaspersión	85
goteo	90

Fuente: Comisión nacional de riego (CNR) Instituto de investigaciones agrarias (INIA).

Cada uno de los distintos métodos de riego presenta características propias de implementación y manejo, que influyen en la eficiencia de aplicación y aprovechamiento del agua por las plantas.

Los métodos más eficientes corresponden aquellos en que el agua se conduce por tuberías con cierta presión y es aplicada en forma localizada, como es el caso de goteo y microaspersión indicada en la tabla 4.1.

Existen criterios generales que se deben tomarse en cuenta para el diseño de un sistema de riego, considerándose ya sea aspectos agronómicos e hidráulicos.

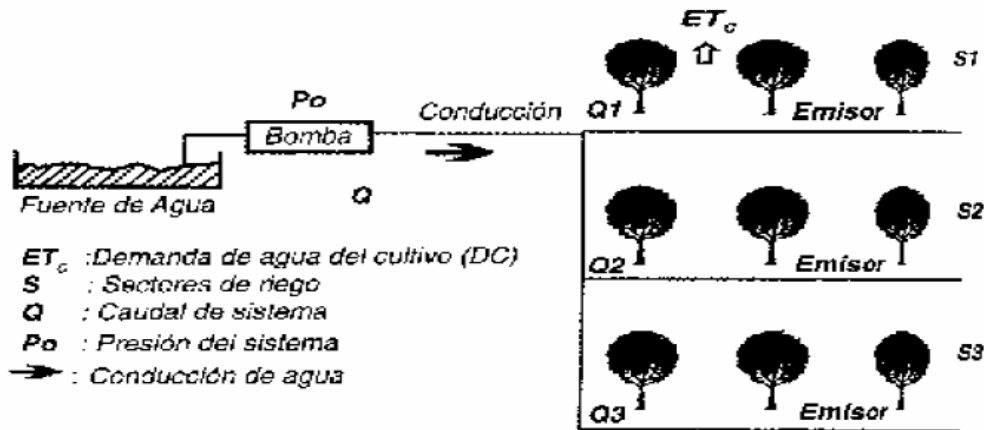


Fig. 4.1 Esquema a considerar en un sistema de riego.

Fuente: Comisión nacional de riego (CNR) Instituto de investigaciones agrarias (INIA).

➤ **Demandas de agua para el cultivo.**

La demanda de agua en un cultivo: o evapotranspiración del cultivo, depende del

estado de desarrollo en que se encuentra la plantación, (frotación, desarrollo de frutos, cosecha)

De las condiciones climáticas: temperatura, humedad relativa, viento.

Características del suelo: profundidad, textura, infiltración, y la disponibilidad de agua que se tenga.

La demanda de agua se puede determinar a través de la bandeja de evaporación (clase A) instrumento que se encuentra en la mayoría de las estaciones meteorológicas y donde se puede solicitar información.



Fig. 4.2 Medición de la evaporación.

Fuente: Comisión nacional de riesgo (CNR) Instituto de investigaciones agrarias (INIA).

Evaporatranspiración del cultivo (ETc):

$$Etc = * Kp * Kc \text{ (mm/día)} \quad (4.1)$$

Dónde:

Etc = Evaporatranspiración del cultivo en (mm/día).

EB = Evaporación desde la bandeja en (mm/ día).

Kp = Coeficiente de la bandeja.

Kc = Coeficiente de cultivo.

Kp: Coeficiente de la bandeja, factor característico del evaporametro (clase de bandeja A), varía normalmente entre valores de 0.6 y 0.8.

Kc: Coeficiente del cultivo, factor que varía según el tipo de cultivo y según las distintas etapas de desarrollo.

En la siguiente tabla se presenta valores de (**kc**) para diferentes tipos de cultivos.

Tabla 4.2 Coeficiente del cultivo (kc).

FACES DEL DESARROLLO DE CULTIVO						
Cultivo	Inicial	Desarrollo del cultivo	Mediados del cultivo	Final del cultivo	Cosecha	Periodo vegetativo total
POROTO						
Verde	0.30_0.40	0.65_0.75	0.95_1.05	0.90_0.95	0.85_0.95	0.85_0.90
Seco	0.30_0.40	0.70_0.80	1.05_1.20	0.65_0.75	0.25_0.30	0.70_0.80
REPOLLO	0.40_0.50	0.70_0.80	0.95_1.10	0.80_1.00	0.80_0.95	9.70_9.80
CEBOLLA						
Seca	0.40_0.60	0.70_0.80	0.95_1.10	0.85_0.90	0.75_0.85	0.80_0.90
Verde	0.40_0.60	0.60_0.75	0.95_1.05	0.95_1.05	0.95_1.05	0.65_0.80
ARVEJA FRESCA	0.40_0.50	0.70_0.85	1.05_1.20	1.00_1.15	0.95_1.10	0.80_0.65
MORRÓN FRESCO	0.30_0.40	0.60_0.75	0.95_1.10	0.95_1.10	0.80_0.90	0.70_0.80
TOMATE	0.40_0.50	0.70_0.80	1.95_1.25	0.80_0.95	0.60_0.65	0.75_0.90
SANDIA	0.40_0.50	0.70_0.80	0.95_1.05	0.80_0.90	0.65_0.75	0.75_0.85
MAÍZ						
Dulce	0.30_0.50	0.70_0.90	1.05_1.20	1.00_1.15	0.95_1.10	0.85_0.95
Grano	0.30_0.50	0.70_0.85	1.05_1.20	0.80_0.95	0.55_0.80	0.75_0.90
PAPA	0.40_0.50	0.70_0.80	1.05_1.20	0.85_0.95	0.70_0.75	0.75_0.90
TABACO	0.30_0.40	0.70_0.90	1.00_1.20	0.90_1.00	0.75_0.85	0.85_0.95
TRIGO	0.30_0.40	0.70_0.80	1.05_1.20	0.65_0.75	0.20_0.25	0.80_0.90
ALFALFA	0.30_0.40				1.05_1.20	0.85_1.05
VID	0.35_0.55	0.60_0.80	0.70_0.90	0.60_0.80	0.55_0.70	0.55_0.75
CÍTRICOS COM						
Desmalzado total						0.65_0.75
Sin control de malezas						0.85_0.90
OLIVO						0.40_0.60
PALTO						0.60_0.80
DURAZNERO	0.45	0.80	1.15	1.05	0.85	0.80
ALMENDRO	0.45	0.80	1.15	1.05	0.85	0.80
NOGAL	0.45	0.80	1.15	1.05	0.85	0.80

Fuente: Manual FAO. Serie riego y drenaje.

Datos:

EB = 6.1 mm/ día (Máxima evaporación de bandeja).

$K_p = 0.7$ (valor promedio).

$K_c = 0.8$ (valor más alto).

Demanda de cultivo o Etc = $6.1 * 0.7 * 0.8 = 3,416$ mm/día.

Ello equivale a: 34.16 m³/ha/día.

Demanda neta del cultivo.

Las demandas netas del cultivo (D.N.C) será la siguiente:

$$D.N.C = \frac{Etc * M.P * PC}{100} \quad (4.2)$$

Dónde:

M.P = Marco de plantación.

$$3 * 3.5 = (10.5m^2)$$

PC: Eficiencia aproximada de aplicación del agua según el método de riego utilizado, varía según el estado de desarrollo de cultivo, siendo igual al 100% en plena producción.

PC = 90% (goteo).

Etc = 3.42 mm/día.

$$D.N.C = \frac{3.42 * 10.55 * 90}{100} = 32.32 \text{ lt /planta /día.}$$

Como los métodos de riego utilizados no son 100% eficientes, la demanda real o bruta (D.B.C) será igual a la demanda neta dividida por la eficiencia. Si estamos regando por goteo esta eficiencia será igual 90% (ver tabla 4.1).luego la demanda bruta será:

$$D.B.C = \frac{D,N,C}{EFICIENCIA} = \frac{32.32 * 100}{90} = 35.91 \text{ litros /planta/día.}$$

Volumen diario de la planta.

Una vez seleccionado el tipo de riego, será necesario definir 3 aspectos:

- ✓ Tipo de emisor a utilizar.
- ✓ Número de emisiones por planta.
- ✓ Espaciamiento entre ellos.

Los datos se refieren a un sistema de riego por goteo. Al momento de seleccionar el gotero deben tomarse en cuenta aspectos como: relación caudal presión (figura 4.1) materiales de construcción, sensibilidad a la obstrucción, forma de inserción en la tubería lateral. etc.

En el mercado nacional existe una amplia gama de emisores, encontrándose abundante información sobre sus características hidráulicas y de diseño.

Los de uso común entregan un caudal de 3.5 a 4 lts /hora y con presiones de operación de 10 a 15 metros de columna de agua (m.c.a) o 0.7 a 1 pulg².

Tabla 4-3 Determinación del gotero en relación a la presión.

Caudal (l/h)	CAUDAL DEL GOTERO EN RELACIÓN A LA PRESIÓN					
	PRESIÓN (m.c.a)					
	5	10	15	20	25	30
2.05	1.05	2.05	2.45	2.85	3.15	3.15
4.10	2.09	4.10	4.90	5.80	6.05	7.10
8.00	5.80	8.00	9.80	11.80	12.60	18.8

Fuente: Comisión nacional de riesgo (CNR) Instituto de investigaciones agrarias (INIA).

El número de goteros o emisores por planta va a depender fundamentalmente de que proporción se quiera mejorar (P.S.M.), la cual no debería ser inferior a 30 – 40% .de esta forma el número de goteros (n.g) puede quedar definido por la siguiente relación:

$$n.g \geq \frac{M.P.*P.S.M.}{100*Amg} \quad (4.3)$$

El área mojada por emisor (Amg), puede calcularse tomando en cuenta la información (tabla 4.3) donde se indican los diámetros mojados por emisor para distintas condiciones de suelo y profundidad de raíces. De esta forma para un suelo con textura media y 80 cm. De profundidad, el diámetro de mojadura aproximado será 1.25 m.

$$Amg = \frac{\pi*D^2}{4} = \frac{3.1416*(1.25)^2}{4} = 1.227 \text{ m}^2 \quad (4.4)$$

Tabla 4-4 Diámetro mojado por un emisor.

Profundidad de raíces y textura del suelo	Granos de estratificación del suelo		
	Homogéneo estratificado en capas		
	Diámetro molado (m)		
Profundidad – 0.80m			
Ligera	0.50	0.80	1.10
Media	1.00	1.25	1.70
Pesada	1.10	1.10	2.00
Profundidad – 1.70 m			
Ligera	0.80	1.50	2.00
Media	1.25	2.25	3.00
Pesada	1.70	2.25	2.50

Fuente: Comisión nacional de riesgo (CNR) Instituto de investigaciones agrarias (INIA).

Número de emisores por planta será el siguiente:

$$n, g = \frac{M.p \times P.S.M}{100 \times A_{mg}} \quad (4.5)$$

Dónde:

n.g = Número de goteros por planta.

M.p = Marco de plantación (m²).

P.S.M = Porcentaje del suelo a mojar (30% - 40%).

A_{mg} = Área mojada por emisor (m²).

$$n.g = \frac{10.5 \times 35}{100 \times 1.227} = 2.99 \text{ goteros} = 3 \text{ goteros.}$$

Ubicación de goteros en línea lateral.

La distancia entre planta es de 3.5 metros por lo tanto el distanciamiento de goteros será igual a:

$$d.g = \text{Separación de las plantas} / n.g = 3.5 \text{ m.} / 3 = 1.16 \text{ m.}$$

Con este distanciamiento se asegura un traslape de los bulbos de mojamiento y se cumple el requisito de porcentaje del suelo humedecido, si se desea colocar los goteros

a un mayor distanciamiento, se puede hacer pero hay que tener un mayor control en el manejo del sistema.

Tiempo de riego en el cultivo.

Podemos determinar calculándose el tiempo de Riego Diario (T.R.D), con la siguiente ecuación:

$$T.R.D = \frac{D.B.C.}{n.g * q.g.} \quad (4.6)$$

Dónde:

D.N.C. = Demanda bruta del cultivo (ya calculada).

n.g. = Número de goteros (ya determinado).

q.g. = Caudal del goteo (predefinido).

De esta forma nuestro tiempo de riego en el mes de máximo consumo diario será igual:

$$T.R.D. = \frac{35.91 \text{ (litros / día)}}{3 * 3.5 \text{ (litros / día)}} = 3.42 \text{ horas / día}$$

Caudal de diseño (Qd)¹⁰.

Dependerá de la superficie que cubre el proyecto. (1 hectárea.).

$Qd = (Ng \text{ de plantas / ha}) * (\text{superficie del sector (ha)} * n.g. * (q.g.))$

$$Qd = (1200 \text{ plantas / ha}) * (1 \text{ ha}) * (3.0) * (3.5 \text{ l/día})$$

$$Qd = 12.6 \frac{m^3}{día}$$

$$\text{Caudal requerido (Qr)} = 4.37 * 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 1.575 \text{ m}^3 / \text{hora}$$

4.1.2 Evaluación de prospección eólica.

Debido a su posición geográfica y a la diversidad de alturas impuesta por la cordillera de los Andes, el Ecuador presenta una gran variedad de climas y cambios considerables a cortas distancias. Nuestro país está ubicado dentro del cinturón de bajas presiones atmosféricas, por esta razón, ciertas áreas del Ecuador reciben la influencia alternativa

³ INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIÓN INTIHUASI conceptos sobre diseño manejo de riego presurizado. Pg. 6 – 10.

de masas de aire con diferentes características de temperatura y humedad¹¹.

Las características climatológicas del Ecuador, como las de cualquier otra parte del planeta, responden a una diversidad de factores que modifican su condición natural, tales como:

- ✓ Latitud geográfica.
- ✓ Altitud del suelo.
- ✓ Dirección de las cadenas montañosas.
- ✓ Vegetación etc.

Variables principales del clima.- Entre las variables principales del clima se tiene:

- ✓ Temperatura.
- ✓ Humedad.
- ✓ Lluvia.
- ✓ Evaporación.
- ✓ Dirección y fuerza del viento.
- ✓ Radiación solar, etc.

La región Interandina o Sierra se caracteriza por poseer regímenes de lluvia, y por su naturaleza tenemos los vientos de drenaje y de montaña y de valle, lo cual nos permite obtener grandes cantidades de energía eólica debido a que la velocidad que los vientos adquieren son lo suficiente fuertes para generarlos, por lo que es la región con mayor factibilidad de utilización del potencial eólico¹².

Datos generales:

Provincia: Tungurahua.

Cantón: Pelileo.

Barrio: La Libertad.

Uso: Extracción de agua por bombeo para regadío.

Ubicación geográfica

- ✓ Altitud geográfica: 2580 m.s.n.m.

Posición geográfica:

¹¹ www.Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología - INAMHI.com,

¹² Utilización de energías eólica para generación de electricidad y almacenamiento de baterías ,ESPOL, Tesis #6 21.475

- ✓ Latitud: 1.31667.
- ✓ longitud: 78.5333.
- ✓ Temperatura promedio 14-18 °C.

Textura del suelo.

Fina : Parte noroeste.

Media: Parte este.

Gruesa: Parte del centro y baja (norte)¹³.

Para tener una visión clara del estudio del potencial eólico en la localidad y mediante manejo de tablas y documentos para la verificación del funcionamiento de dicha maquina se ha realizado un estudio empírico, dicha información fue recogida en base a visitas realizadas al lugar, donde las condiciones de topografía, de vegetación y gracias al conocimiento de los habitantes de la localidad que aportaron valiosa información en la identificación del lugar con diferentes niveles de velocidad de viento, para cual se manejó la Escala Beaufort para la determinación de un posible potencial eólico.

Tabla 4-5 Escala Beaufort para la medición cualitativa de la velocidad de viento.

Escala de Beaufort		
	Vel. Viento en m/s	Características
1	1.8 – 3.3	Perceptible en la cara
2	3.4 – 5.2	Leve movimiento de las hojas
3	5.3 – 7.4	Leve movimiento de ramitas
4	7.5 – 9.8	Se oye silbar el viento

Fuente: Molinos de Viento para Bombeo de Agua JOBER¹⁴.

Como resultado del análisis de investigación de campo que se dice que: Esta área potencialmente aprovechable será estudiada a profundidad para determinar la distribución del viento, esto se realizara con una pequeña estación meteorológica, aplicando este criterio a nuestra localidad se puede evidenciar desde el punto de vista del análisis realizado que se cuenta con una buena prospección eólica para el aprovechamiento de este recurso.

¹³ Plan estratégico de desarrollo de la parroquia García Moreno

¹⁴ Características técnicas para la implementación de molinos de viento para bombeo de agua JOBER.

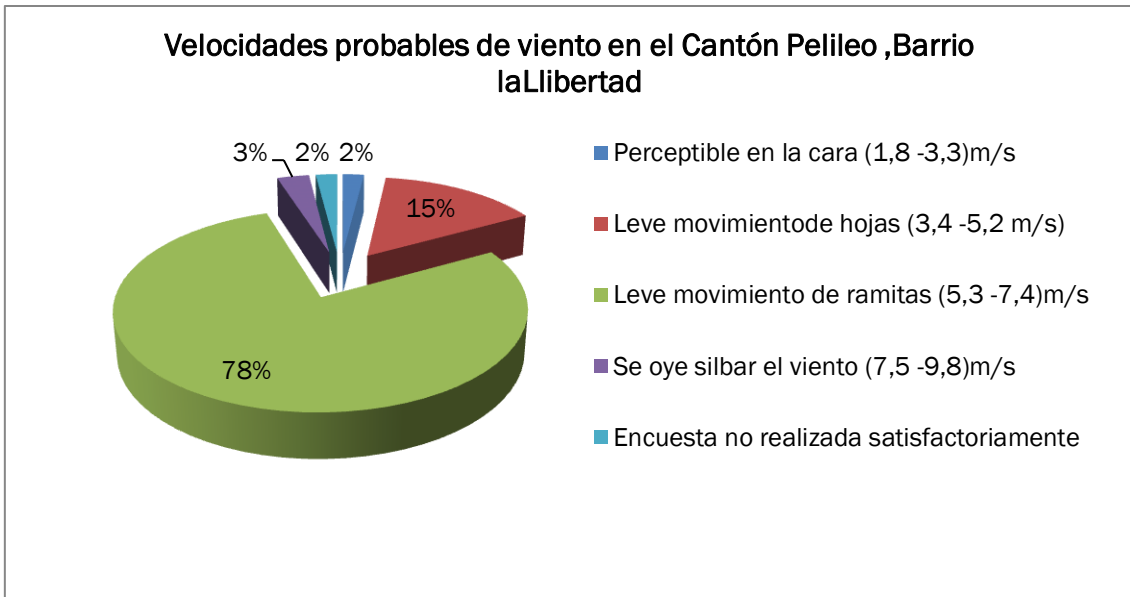


Gráfico 4.1 Gráfica que nos permite conocer un valor aproximado velocidad promedio del viento.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

De la misma forma la determinación de la dirección del viento se llevó a cabo mediante la observación de campo donde se pudo mirar la incidencia del viento en los árboles a lo largo del tiempo, o sobre la vegetación lo que hacen que estos crezcan inclinados en la dirección predilecta del viento. Dando como resultado una dirección del viento hacia el Noroeste.



Fig. 4.3 Árbol torcido por influencia permanente del viento en la localidad.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Es claro que la información empírica, recogida no permite conocer un valor aproximado

de la dirección y velocidad promedio del viento, pero si permite prospectar sitios para futura evaluación del recurso. Dado el caso que una información empírica no es el mejor enfoque ya que esta puede presentar resultados poco favorables no solo desde el punto de vista de suministro de agua sino de la mala imagen de esta fuente energética por una instalación inapropiada.

Se ha visto en la necesidad de adquirir una pequeña estación meteorológica para de una manera efectiva determinar los valores promedios del comportamiento del viento.

Esta relación entre la distancia y el tiempo de medida permite entonces conocer la velocidad promedio del viento.

Con la recopilación de esta información totalizada y con promedios de velocidad de viento, se podrá establecer a ciencia cierta el régimen de vientos presente en el lugar, identificándose con gran certeza las variaciones.

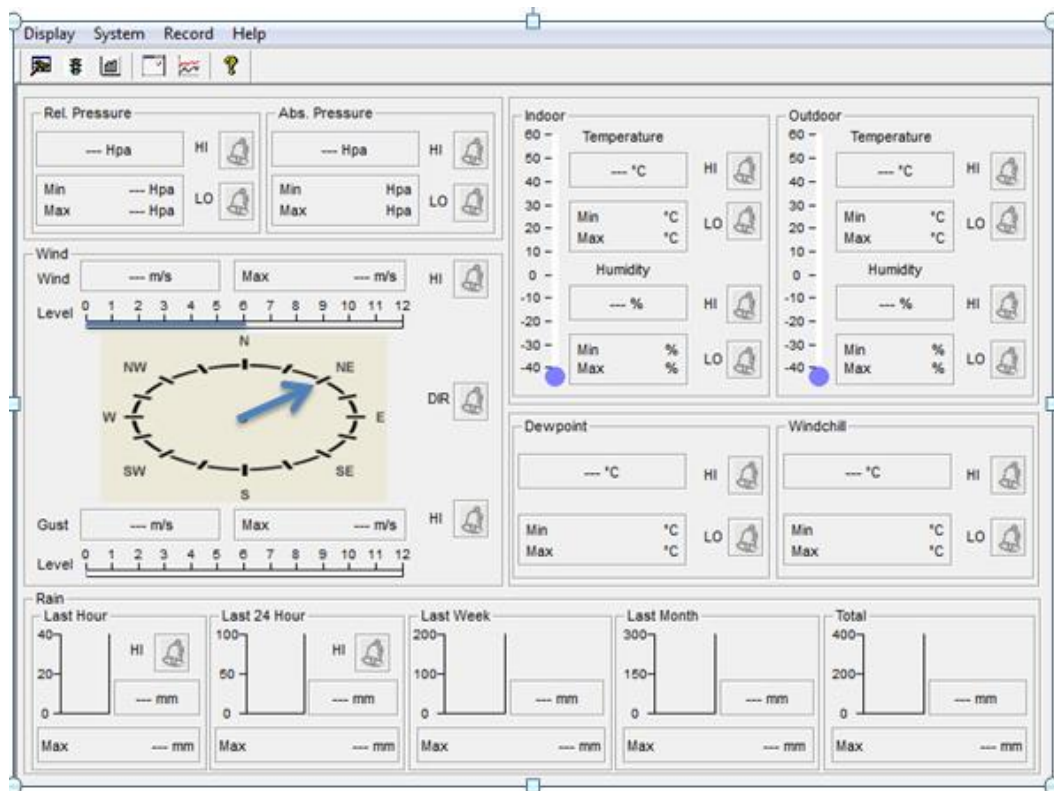
Dicho equipo de adquisición de datos viene provisto con procesador de memoria permitiendo extraer la información al computador, la cual nos garantiza un preciso dimensionamiento del sistema de Aerobombeario para suministro de agua.



Fig. 4.4 Estación meteorológica utilizada.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

La pantalla principal del software “EASY WEATHER” vienen dados en términos de velocidad vs minutos, horas, meses, años.



También se pueden graficar otras curvas como las temperaturas, presión absoluta, relativa, predicciones de lluvia, humedad, dirección del viento.

4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Estos datos fueron tomados cada tres minutos, los cuales fueron guardados en una Tablet la misma que fue conectado a una computadora para descargar los datos.

NOTA: Estos datos fueron tomados cada 3 min. y transformados a horas para facilidad de cálculo los diferentes factores. Así obteniendo un total de 720 datos (Anexo 1).

Recopilada la información del régimen de viento en el lugar y analizada adecuadamente, se presenta los resultados de estimación de energía disponible. La dirección del viento se determinó que tiene incidencia hacia el noroeste (NE =180°).

Para evaluar la viabilidad del uso del viento como fuente de energía, es necesario conocer las características del mismo. Dada la variabilidad y aleatoriedad se debió aplicar técnicas estadísticas para su análisis.¹⁵

¹⁵ Miguel Villarrubia, energía eólica, medida y tratamiento de los datos eólicos

Para un conjunto de N valores de velocidad (v) que se presenten (n veces) la misma que se presenta para nuestro caso un conjunto de (N= 720) con los que procedemos a agrupar y clasificar según las clases o categorías tal como se muestra es la siguiente tabla.

Tabla 4-6 Velocidades medias diarias, frecuencias relativas, frecuencias acumuladas.

Intervalo de clase (m/s)	Centro de clase (m/s)	Frecuencia de la clase	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	frecuencia relativa acumulada
0 < V <= 1,5	1	2	0,002777	0,002777	0,9972
1,5 < V <= 2,5	2	35	0,04861	0,051387	0,9147
2,5 < V <= 3,5	3	85	0,1181	0,169487	0,8305
3,5 < V <= 4,5	4	96	0,13333	0,302817	0,6972
4,5 < V <= 5,5	5	107	0,1486	0,451417	0,5486
5,5 < V <= 6,5	6	118	0,1639	0,615317	0,3847
6,5 < V <= 7,5	7	89	0,1236	0,738917	0,2611
7,5 < V <= 8,5	8	74	0,1028	0,841717	0,1583
8,5 < V <= 9,5	9	35	0,04861	0,890327	0,1097
9,5 < V <= 10,5	10	27	0,0375	0,927827	0,07217
10,5 < V <= 11,5	11	18	0,025	0,952827	0,0472
11,5 < V <= 12,5	12	14	0,01944	0,972267	0,0277
12,5 < V <= 13,5	13	6	0,00833	0,980597	0,0194
13,5 < V <= 14,5	14	10	0,01389	0,994487	0,0055
14,5 < V <= 15,5	15	4	0,00556	1	0
TOTAL		720	1		

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

En las figuras se muestran el histograma de frecuencias y las curvas de frecuencias relativas acumuladas. Las mismas que nos permiten leer la fracción de días del periodo considerado para que conocer la velocidad media del viento ya sea menores o iguales a un cierto valor de la velocidad.

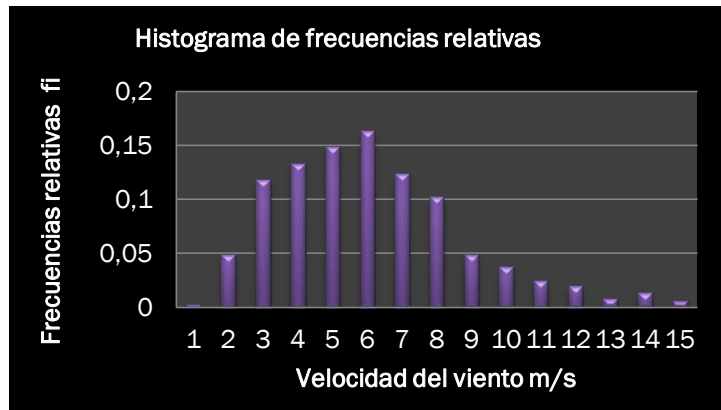


Gráfico 4.2 Histograma de frecuencias relativas.
Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

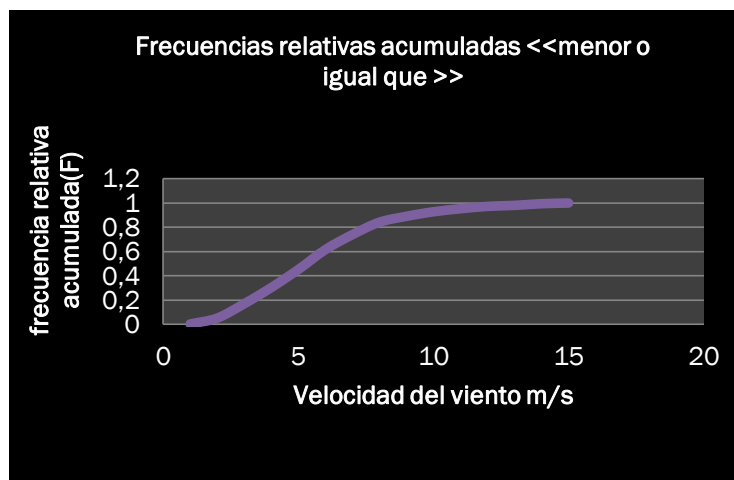


Gráfico 4-3 Frecuencias relativas acumuladas <<menor o igual que>>.
Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

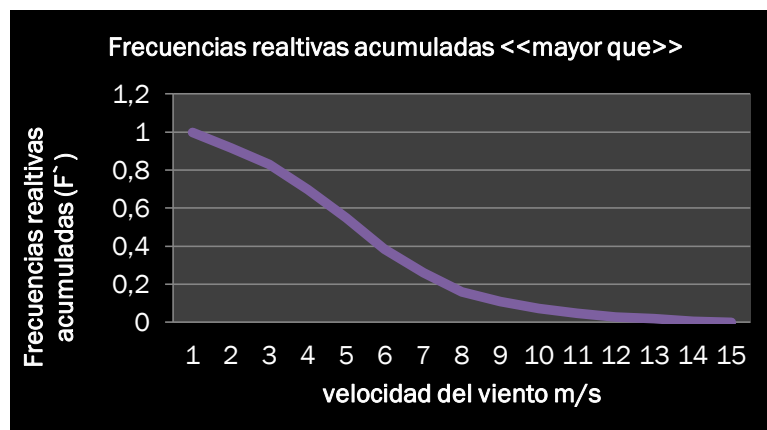


Gráfico 4.4 Frecuencias relativas acumuladas <<mayor que>>.
Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

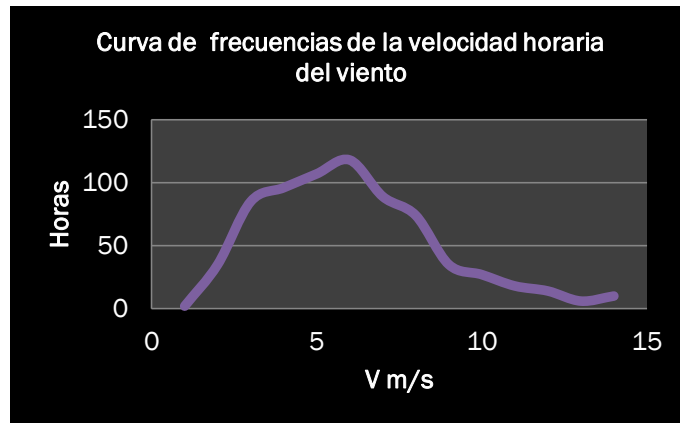


Gráfico 4.5 Curva de frecuencias de la velocidad del viento.
Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Las gráficas muestran las curvas de duración y probabilidades de velocidad del viento, obtenidas después de haber procesado la información por medios computacionales, lo que ha determinado que siendo datos continuos registrados, posibilite establecer una metodología de cálculo para la evaluación del recurso.

Para la caracterización del viento y en particular para nuestro caso se presenta la siguiente tabla en la misma que se estableció los siguientes parámetros para la determinación del potencial eólico. Los resultados obtenidos del tratamiento estadístico ofrecerán una mayor fiabilidad como elementos que caracterizan las condiciones del viento.

Tabla 4.7 Tratamiento estadístico de los datos de la velocidad del viento.

Intervalo de clase (m/s)	Centro de clase (m/s)	Frecuencia de la clase	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	frecuencia relativa acumulada	productos fi vi	productos fi*vi^2
0 < V <= 1,5	1	2	0,002777	0,002777	0,9972	0,002777	0,002777
1,5 < V <= 2,5	2	35	0,04861	0,051387	0,9147	0,09722	0,19444
2,5 < V <= 3,5	3	85	0,1181	0,169487	0,8305	0,3543	1,0629
3,5 < V <= 4,5	4	96	0,13333	0,302817	0,6972	0,5332	2,13328
4,5 < V <= 5,5	5	107	0,1486	0,451417	0,5486	0,743	3,715
5,5 < V <= 6,5	6	118	0,1639	0,615317	0,3847	0,9834	5,9004
6,5 < V <= 7,5	7	89	0,1236	0,738917	0,2611	0,8652	6,0564
7,5 < V <= 8,5	8	74	0,1028	0,841717	0,1583	0,8224	6,5792
8,5 < V <= 9,5	9	35	0,04861	0,890327	0,1097	0,43749	3,93741
9,5 < V <= 10,5	10	27	0,0375	0,927827	0,07217	0,375	3,75
10,5 < V <= 11,5	11	18	0,025	0,952827	0,0472	0,275	3,025
11,5 < v <= 12,5	12	14	0,01944	0,972267	0,0277	0,23328	2,7994
12,5 < v <= 13,5	13	6	0,00833	0,980597	0,0194	0,1084	1,4078
13,5 < v <= 14,5	14	10	0,01389	0,994487	0,0055	0,19446	2,72244
14,5 < v <= 15,5	15	4	0,00556	1	0	0,0834	1,251
TOTAL		720	1			6,1086	44,54
Resultados							
horas totales	velocidad media		mediana		desviación típica		
N= 720	<v>= 6,1		v̄= 5,6		σ= 2,7		

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Conocida la velocidad media $\langle v \rangle$ y la desviación estándar σ determinamos el factor de forma (k):

$$k = 0.9791 \left(\frac{\langle v \rangle}{\sigma} \right)^{1,1058} \quad (4.8)$$

$$k = 0.9791 \left(\frac{6,1}{2,7} \right)^{1,1058}$$

$$k = 2.4$$

Utilizando la expresión siguiente e interpolando en la tabla (Anexo 2) se puede obtener el factor de escala c:

Donde Γ : es una función que extiende el concepto de factorial a los números complejos.

La función Gamma aparece en varias funciones de distribución de probabilidad, por lo que es bastante usada tanto en probabilidad y estadística como en combinatoria¹⁶.

$$\begin{aligned} \frac{\langle v \rangle}{c} &= \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \\ \frac{\langle v \rangle}{c} &= \Gamma\left(1 + \frac{1}{2,4}\right) \\ \frac{\langle v \rangle}{c} &= 0.88636 \\ c &= \frac{\langle v \rangle}{0.88636} = 6.8 \text{ m/s} \end{aligned} \tag{4.9}$$

Ley de distribución de Weibull de la velocidad del viento.

Es importante disponer de una función que permita determinar la distribución de velocidades del viento a lo largo de un periodo de tiempo .La función de densidad de probabilidad $\rho(v)$ corresponde a la ley de Weibull, está en función de dos parámetros (k,c) donde:

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

Dónde:

v = Velocidad del viento (m/s).

$\rho(v)$ = Función de densidad de probabilidad de Weibull.

c = Factor de escala (m/s).

k =Factor de forma que caracteriza la asimetría o sesgo de la función de probabilidad.

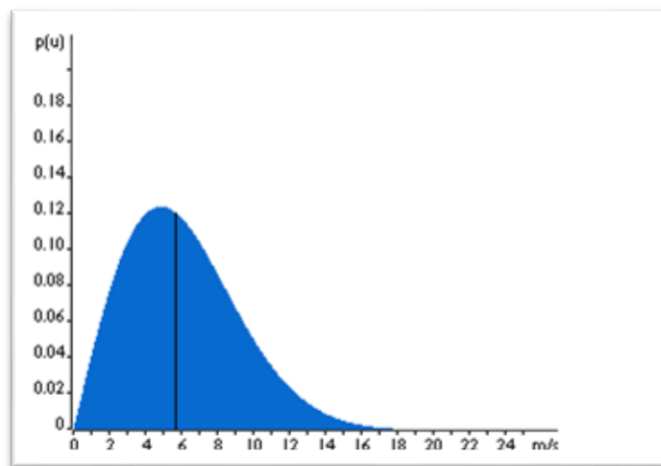


Fig. 4.5 Distribución de Weibull.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

¹⁶ www.funciongamma.com

La velocidad del viento media o el parámetro de escala c , suelen indicar como de ventoso es, en promedio, el emplazamiento. El parámetro de forma, k , indica cómo de puntiaguda es la distribución, es decir, si las velocidades del viento siempre tienden a estar próximas a un cierto valor, la distribución tendrá un alto valor de k y será muy puntiaguda.

Esta distribución de Weibull permite determinar la distribución de velocidades del viento a lo largo de un periodo de 3 meses en donde para nuestro caso se tiene una distribución del 12% lo cual se puede decir que es un valor alto en comparación con la curva de distribución de velocidades de viento.

Variación de la velocidad del viento con la altura.

Rugosidad del terreno.

En las capas próximas al suelo, la velocidad del viento disminuye produciendo un efecto de cizallamiento del viento, la variación o gradiente de velocidad con respecto a la altura depende esencialmente de la rugosidad del terreno.

En los casos que solo se conoce la velocidad media $\langle v \rangle$, medida a una altura (h) y no se dispone de más información sobre las características físicas ni el tipo de terreno, podemos utilizar la fórmula de Justus – Mikjail, pudiendo obtener una estimación del exponente α ¹⁷.

$$\alpha = \frac{0.37 - 0.088 \ln(v_h)}{1 - 0.088 \ln\left(\frac{h}{10}\right)} \quad (4.10)$$

$$\alpha = \frac{0.37 - 0.088 \ln(6,1)}{1 - 0.088 \ln\left(\frac{10}{10}\right)}$$

$$\alpha = 0.21$$

Dónde:

h = Altura respecto del suelo a la que se ha medido la velocidad media (m).

(v_h) = Velocidad media a la altura h (m/s).

Determinación del Potencial eólico: Es la potencia que podríamos extraer del viento si pudiésemos convertir toda su energía mecánica en energía útil, debido a limitaciones de

¹⁷ Miguel Villarrubia, energía eólica, caracterización energética del viento: potencial eólico, pg. 87, pg. 91

distinta índole (límite de Betz), rozamientos aerodinámicos y mecánicos, rendimiento de la bomba hidráulica etc.).

La densidad de aire de potencia depende linealmente de la densidad del aire, por lo que un aire frío presenta una densidad de potencia superior a uno más caliente. Asimismo un lugar situado a una cota próxima al nivel del mar presentara una densidad superior a otro a una mayor altitud, para corregir los efectos de la temperatura y la de altitud sobre el nivel del mar, densidad se puede determinar utilizando la expresión aproximada¹⁸.

$$\rho = 1.225 \left(\frac{288}{t+273} \right) e^{-\left(\frac{z}{8435} \right)} \quad (4.11)$$

Dónde:

ρ = Densidad de aire (kg/m³).

t = Temperatura en grados centígrados (14 -18°C).

z = Altura sobre el nivel del mar 2580 m.s.n.m. (Pelileo).

$$\rho = 1.225 \left(\frac{288}{16+273} \right) e^{-\left(\frac{2580}{8435} \right)}$$

$$\rho = 0.899$$

Donde el potencial eólico es:

$$\frac{\langle Pd \rangle}{A} = \frac{1}{2} \rho Fe \langle v \rangle^3 \quad (4.12)$$

Fe = factor de energía (factor de potencia eólica o factor de irregularidad) (anexo 3).

k	$\langle v \rangle / c$	$\sigma / \langle v \rangle$	$\tilde{v} / \langle v \rangle$	$V_m / \langle v \rangle$	$Fe = \langle v^3 \rangle / v^3$	$Fe^{1/3}$
2,4	0,886	0,444	0,968	0,901	1,63	1,18

$$\frac{\langle Pd \rangle}{A} = \frac{1}{2} \rho Fe \langle v \rangle^3$$

$$\frac{\langle Pd \rangle}{A} = 166.3 \text{ W/m}^2$$

Coefficiente de potencia (Anexo 4).

Coefficiente de potencia expresa la relación o fracción entre la potencia aprovechada por

¹⁸ Miguel Villarrubia, energía eólica, caracterización energética del viento: potencial eólico, pg. 103

la máquina y la potencia disponible en el viento, para aerogeneradores de rotor giratorio es de (0,25 - 0,30).

Potencia útil (Pu) que suministra por la bomba:

$$Pu = \frac{\rho_{agua} * Q * H}{\eta} \quad (4.13)$$

$$Pu = \frac{1000 * 9,34 * 10^{-3} * 15}{0.80}$$

$$Pu = 175.13 W$$

Dónde:

$Q =$ Caudal volumétrico de líquido bombeado ($\frac{m^3}{s}$).

$\rho =$ Densidad del líquido bombeado ($\frac{Kg}{m^3}$).

$\eta =$ Rendimiento de la bomba (70-80%).

$H =$ Altura manométrica suministrada por la bomba (15 m).

Área barrida por el rotor.

El área barrida por el rotor que éste presenta frontalmente al viento, es un parámetro que se utiliza con cierta frecuencia en los cálculos de energía eólica. Conocidos los datos energéticos de la máquina y de la fuente energética.

Diámetro del rotor:

$$R = \left[\frac{Pu}{\eta m C_p \left(\frac{\langle Pd \rangle}{A} \right) \pi} \right]^{0,5} \quad (4.14)$$

$$R = \left[\frac{175,13}{0,95 * 0,28 * 166,3 * \pi} \right]^{0,5}$$

$$R = 1,184m$$

Diámetro del rotor $D \approx 2,5$ m.

Dónde:

$Pu =$ Potencia útil.

$\eta =$ Rendimiento de la maquina eólica (0.95%).

$C_p =$ Coeficiente de potencia (0,25-0,30).

$$A = \pi * R^2 \quad (4.15)$$

$$A = 4,9 m^2.$$

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Con respecto a la hipótesis planteada en el proyecto la verificación está basada en los datos obtenidos de un estudio preliminar de prospección eólica, con lo que se puede concluir de forma cuantitativa que el lugar en cuestión es apto para implementar un sistema conversor de energía para bombeo, por las siguientes razones:

La información recogida en base a encuestas y visitas realizadas en el lugar (Gráfico 4.1) y mediante el manejo de la escala de Beaufort (figura 4.3) permitió conocer un valor aproximado de velocidad promedio del viento de (5.3 - 7.4 m/s). Donde las condiciones de topografía, vegetación y el conocimiento de los habitantes del lugar aportaron valiosa información en la identificación de los niveles de velocidad de viento así también determinar la constante de incidencia del viento en los árboles lo hacen que estos crezcan inclinados en la dirección predilecta del viento (figura 4.3).

Es claro que la información empírica recogida, no permite conocer un valor aproximado de velocidad promedio del viento. Pero si permite decir que el lugar puede ser apto para la implementación de un sistema de bombeo eólico.

Para conocer de una manera más efectiva el valor promedio del comportamiento del viento se instaló una estación meteorológica, con el cual se pudo establecer un valor promedio de viento = 6.2 m/s. así también conocer los diferentes parámetros como son frecuencias de duración y probabilidades de velocidad del viento.

Por lo tanto de ser esta la probabilidad de velocidad del viento (figura 4.5) el sitio es el adecuado para instalar un sistema conversor de energía. Ya que este tipo de sistemas entran en funcionamiento con velocidades de viento de 5m/s.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A la terminación del presente trabajo investigativo, se hace ver que el objetivo principal se ha conseguido, y de la experiencia lograda durante el tiempo que ha perdurado el presente trabajo investigativo, por lo cual se cita las siguientes conclusiones y recomendaciones:

5.1 Conclusiones

- ✓ Para el estudio de un sistema de bombeo eólico se determinó primeramente el, tamaño y tipo de cultivo, sistema de riego a utilizar, periodos de riego, nivel de evapotranspiración, para determinar la demanda neta de agua a necesitar.
- ✓ Dentro de las consideraciones está el análisis de la estadística descriptiva con los datos de la muestra tomada donde estudiamos lo que ocurre en el comportamiento del viento registrado por el anemómetro, dichos datos determinan específicamente si el viento genera suficiente energía para poder justificar el uso de la Aerobomba.
- ✓ En el lugar donde se realizó el estudio, la instalación de aerogeneradores es recomendable ya que los vientos existentes son de una magnitud superior a las mínimas recomendadas (5 m/s) para que estos equipos funcionen en forma óptima.
- ✓ Con la ayuda de los datos registrados por la estación meteorológica ubicada a una altura de 10 m se obtuvo datos con mayor exactitud y confiabilidad, llegando a la conclusión de que en el mes de Julio, fue favorable en cuanto a energía entregada por el viento.

- ✓ La velocidad promedio del viento imperante en el sector fue de 6.1 m/s, con la cual se determinó la potencia disponible para seleccionar un diámetro del rotor de 2,5 m. entre otros.
- ✓ La fuerza necesaria para el funcionamiento del sistema hidráulico es menor a la entregada por el rotor que es de $F_{\text{máx}} = 348.2 \text{ N}$.
- ✓ Se utilizara una bomba de pistón de diámetro de 3 pulgadas y una altura de bombeo de 15m, sistema permite bombear hasta una altura de 21 m. con lo cual se compensa las pérdidas producidas por el sistema
- ✓ En definitiva, la energía eólica no ha sido aprovechada en el país para resolver problemas de irrigación agrícola, pero se es un recurso que está al alcance de todos, y no parece razonable desaprovechar lo que nos pueda ofrecer.

5.2 Recomendaciones

- ✓ La Aerobomba debe ubicarse en el lugar donde se realizó el estudio y donde se cuente con velocidad media del viento de 6.1 m/s. con el propósito de genere la potencia necesaria para bombeo.
- ✓ Ubicar la bomba sobre un pozo con un caudal suficiente de $12 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$ para evitar problemas con las partes que conforma bomba.
- ✓ Conocer la velocidad promedio del viento en la zona de implantación del equipo, esto implica conocer de antemano cual va a ser la fuente de agua que se dispone.
- ✓ Se requiere conservar una altura de aspiración mínima de (ha 9.5 m) para evitar la cavitación, si sobrepasa esta altura de aspiración se sobrecarga el sistema.

- ✓ El diseño del perfil es muy importante ya que es el que comunica el movimiento directamente al rotor donde se encuentra es sistema que trasmite el movimiento a la bomba.
- ✓ Una vez caracterizado el viento se debe obtener la energía y la potencia que el sistema será capaz de generar en las condiciones dadas. En esta etapa es necesaria la utilización de otros datos como: temperatura y densidad media del aire en el lugar de emplazamiento, etc.
- ✓ Otra recomendación sería la de fabricar el equipo con tecnología nacional de manera que esto abarate los costos de inversión de los precios internacionales.
- ✓ Es importante brindar un adecuado mantenimiento al sistema para evitar problemas en su funcionamiento, asegúrese de leer y comprender el manual de operación y mantenimiento, seguir el plan de mantenimiento ya especificado para cada parte de la Aerobomba.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 DATOS INFORMATIVOS

El sistema conversor de energía será estudiado en su totalidad, debiendo cumplir ciertas características detalladas a continuación.

Estará destinada a trabajar velocidades de viento promedio de 6.1m/s.

Potencia útil para el bombeo de 175.3 W.

Caudal necesario para la extracción del recurso hídrico. ($Q_r = 4.37 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$).

Diámetro del rotor = 2.5 m.

Área de barrido = 4.9 m.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Nuestro estudio estará centrado en el Molino de viento multipala tradicional con bomba de pistón ya que este es el más común de los molinos de viento, es conocido comúnmente como el Molino de Viento Americano (American Farm Windpump).

Este tipo de máquina extrae la potencia del viento con un rotor compuesto por 12 a 24 o más palas, que mueve una bomba de pistón a través de una barra vertical el acoplamiento entre el rotor y la barra se realiza mediante un mecanismo de biela manivela. Esto hace más versátil a la máquina y adecuada para trabajar con agua a grandes profundidades. Por otro lado la baja velocidad de trabajo hace la máquina más fiable por el menor desgaste por fricción de los elementos de la bomba y disminuye las roturas por fatigas.

El diámetro del rotor de estos molinos se fabrica entre 2 y 5 m generalmente, pudiendo llegar excepcionalmente hasta 10 m.

Estas máquinas pueden ser instaladas en sitios con bajas velocidades del viento, entre 2 y 5 m/s.

Además se dispone de información de un proyecto realizado por la Escuela Superior Politécnica del litoral. Facultad de Ingeniería Mecánica. La cual nos permite tener una idea clara de estos sistemas conversores de energía.

Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Revista México Junio 2008. permite establecer claramente el diseño que tendrá dicha propuesta.

6.3 JUSTIFICACIÓN

Para minimizar el problema de estiaje, y mejorar la producción agrícola en los meses con mayor demanda de agua, se ha visto en la necesidad de realizar el estudio de un sistema conversor de energía para extraer el agua desde una vertiente de 5 m. De profundidad y una altura de descarga de 15m. La cual permita optimizar la producción agrícola en el sector.

6.4 OBJETIVOS

Realizar el estudio de un sistema conversor de energía con el fin de minimizar el problema de estiaje y así optimizar la producción agrícola en los meses con mayor demanda irrigación.

Diseñar cada uno de los factores que intervengan en el dimensionamiento del sistema hidráulico.

Realizar el dimensionamiento mecánico de los diferentes componentes del sistema conversor de energía.

Seleccionar los materiales adecuados y existentes en el mercado para diseñar el sistema conversor de energía para la extracción de agua para irrigación agrícola.

Realizar un análisis económico para determinar la viabilidad de la máquina.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

La elaboración de la propuesta es factible de realizar, ya que se cuenta con toda la

información necesaria.

Para que exista una buena perspectiva en el diseño del sistema conversor de energía es necesario trabajar con equipos y materiales existentes en el mercado nacional, esto permitirá coordinar de mejor manera los técnicas de diseño del equipo, permitiendo tomar medidas relacionadas costo- beneficio, para la cual más adelante determinaremos que tan rentable resultaría la implementación del equipo. Pretendiendo incrementar la producción agrícola en los meses de mayor estiaje.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

Para todo tipo de Aerobomba la elección del emplazamiento es un elemento determinante, los parámetros definitorios del lugar son diferentes dependiendo del bombeo a realizar por dicha Aerobomba.

Uno de los mayores desafíos a la hora de usar la energía eólica es encontrar el lugar para el sistema conversor de energía.

Datos generales

Provincia: Tungurahua.

Cantón: Pelileo.

Parroquia: García Moreno.

Uso: Extracción de agua por bombeo para irrigación.

Parámetros para el diseño del sistema conversor de energía.

Caudal requerido = $4.37 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$.

Altura de bombeo = 15 m.

Velocidad media = 6.2 m/s.

Diámetro del rotor = 2.5 m.

6.6.1 Determinación del potencial eólico.

Potencia disponible (Pd), velocidad del viento en el sector para determinar cuanta energía puede aprovechar el sistema conversor de energía.

$$\langle Pd \rangle = \frac{1}{2} \rho A F e \langle v \rangle^3 \quad (6.1)$$

$$\langle Pd \rangle = 805.83 W.$$

Potencia aprovechada. Es la potencia útil que ofrece el eje del rotor y que generalmente se utiliza para el accionamiento del mecanismo de transmisión, se determina a través de la relación.

$$P_a = C_p * P_d \quad (6.2)$$

$$P_a = 241.75 \text{ W.}$$

Par en el eje del rotor.

$$M = \frac{P_a}{\Omega} \quad (6.3)$$

$$M = \frac{243.3}{6.2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$M = 39 \text{ Nm.}$$

Las Aerobombas pueden tener en el rotor diferentes números de palas, (12 a 24palas)¹⁹, ya que poseen un alto par de arranque y giran a bajas rpm (rotores lentos).

$$n = \frac{4 * \pi}{\lambda} \quad (6.4)$$

$$n = 12$$

Dónde:

$n = \text{Número de palas.}$

$\lambda = \text{Velocidad específica.}$

Coefficiente de velocidad.

Relación entre la velocidad tangencial debido a la rotación en el extremo más alejado de

la pala y la velocidad del viento, permitiendo clasificar los rotores en lentos o rápidos²⁰.

$$\lambda = \frac{R \Omega}{v} \quad (6.5)$$

$$\lambda = \frac{1.25 * 6,1}{6.28}$$

$$\lambda = 1$$

¹⁹ <http://www.monografias.com/trabajos39/aerogeneradores/aerogeneradores2.shtml>.

²⁰ Santiago J. Sánchez: energías renovables ,conceptos y aplicaciones,cap.8,pg 114

Dónde:

$R =$ Radio del rotor (m).

$\Omega =$ Velocidad angular del rotor (rad/s).

La velocidad específica ($\lambda = 1$) ayuda a verificar el número de palas en la siguiente tabla.

Tabla 6-1 Relación de velocidad específica con el número de palas.

λ	1	2	3	4	5 a 8	8 a 15
Numero de palas (z)	6 a 20	4 a 12	3 a 8	3 a 5	2 a 4	1 a 2

Fuente: MCL-otero.

Las palas son una parte muy importante de la Aerobomba, de su naturaleza dependen el buen funcionamiento y duración de la vida de la máquina, así como de su rendimiento.

Para el diseño de una pala lleva consigo la elección del perfil más adecuado, teniendo en cuenta sus características aerodinámicas y su aspecto constructivo.

El rotor de un molino que está constituido por uno o más alabes unidos a un cubo, las secciones transversales llamadas también perfiles pueden tener diversas formas.

Para el diseño de las palas de un rotor es importante conocer los valores C_L y α correspondiente a la mínima relación C_D/C_L . (anexo 5).

$C_L =$ Coeficiente de sustentación.

$C_D =$ Coeficiente de arrastre.

$\alpha =$ Ángulo de ataque.

Parámetros para el diseño de un perfil tipo placa arqueada.

$C_L = 0.9$	$\alpha = 4$	$C_D/C_L = 0.02$
-------------	--------------	------------------

La selección de un gran número de alabes (n) para un elevado (λ) conducirá a álabes muy pequeños y delgados, los cuales originaran problemas en su fabricación y una influencia negativa sobre las propiedades de sustentación y resistencia de estos. Para un valor λ bajo el aumento del numero de alabes compensa la perdida de potencia debido a la resistencia.

El λr_i es una relación de la velocidad entre la velocidad periférica y la velocidad del viento a un radio determinado para cuestiones de diseño se pretende que exista un valor mayor a λ con respecto a la velocidad del viento, la velocidad especifica se calcula según la ecuación.

$$\lambda r_i = \lambda \frac{r_i}{R} = 1 \quad (6.6)$$

Dónde:

r_i = Distancia de la sección de estudio al centro del rotor.

R = Radio de la pala.

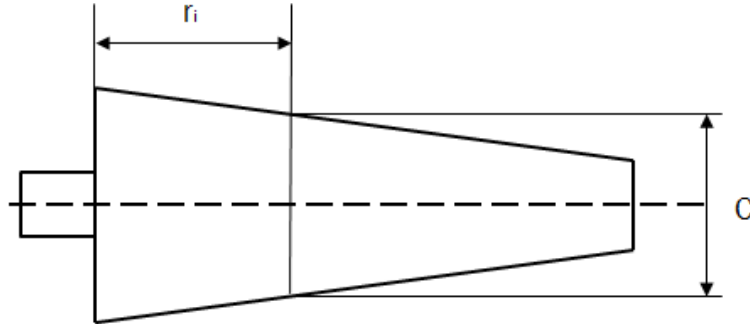


Fig. 6.1 Forma de seccionar una pala.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Las siguientes expresiones facilitan el cálculo de la geometría del perfil, cuerda, ángulo de sustentación o aparente del viento, ángulo de calaje o de inclinación.

Remplazando los valores en las siguientes ecuaciones tenemos.

$$\theta = \frac{2}{3} \tan^{-1}(1/\lambda r_i) \quad (6.7)$$

$$\theta = \frac{2}{3} \tan^{-1}(1/1)$$

$$\theta = 33.3$$

$$\beta = \theta - \alpha \quad (6.8)$$

$$\beta = 33,3 - 4$$

$$\beta = 29.3$$

$$c = \frac{8 r \pi}{n C_l} (1 - \cos \theta) \quad (6.9)$$

$$c = \frac{8 * 1,25 * \pi}{12 * 0,9} (1 - \cos 33,3)$$

$$c = 0.389 \text{ m.}$$

Al considerar una linealización se debe notar que alrededor del 75% de la potencia que extrae el rotor desde el viento se realiza por la mitad exterior de los alabes²¹.

Por estas razones es conveniente linealizar las cuerdas y los ángulos de alabe entre:

$$r = 0.1 R; \text{ Notamos que el valor más cercano de: } 0.1R = 0.125.$$

$$r = 0.5 R; \text{ Notamos que el valor más cercano de: } 0.5R = 0.625.$$

$$r = 0.9 R; \text{ Notamos que el valor más cercano de: } 0.9R = 1.125.$$

Para estos valores de r se calcularon los valores de C y β siguientes:

Tabla 6.2 Determinación de la cuerda.

$r(m)$	λ	$\lambda r i$	$c (m)$	θ	β°
0.125	1	0.1	0.2967	56.2°	52.3°
0.625	1	0.5	0.2373	42.3°	38.3°
1.125	1	0.9	0.1893	32°	28°
1.25	1	1	0.1797	30°	26°

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Podemos linealizar las cuerdas y ángulos escribiendo.

$$c = a_1 r + a_2 \quad (6.10)$$

$$\beta = a_3 r + a_4 \quad (6.11)$$

Con los valores de C y β para $r = 0.625$ y $r = 1.125$ se encuentra las constantes a_1 , a_2 , a_3 , a_4 .

$$0.2373 = 0.625 a_1 + a_2$$

$$38.3 = 0.625 a_3 + a_4$$

$$0.1893 = 1.125 a_1 + a_2$$

$$28 = 1.125 a_3 + a_4$$

Resolviendo este sistema de 4 ecuaciones con 4 incógnitas obtenemos los siguientes resultados:

$$a_1 = -0.096 \quad a_2 = 0.2973$$

$$a_3 = -20.6 \quad a_4 = 51.2$$

$$C = -0.096 r + 0.2973$$

$$\beta = -20.6 r + 51.2$$

Diseño del rotor con un cubo de radio (0.1 R) $r = 0.125$ entonces se calcula las cuerdas y los ángulos del alabe a lo largo de toda la aleta.

²¹ Utilización de energía eólica para generación de electricidad y almacenamiento de baterías, ESPOL.

$$C_{raiz} = -0.096 * 0.125 + 0.2973 = 0.2853m$$

$$C(0.5R) = -0.096 * 0.625 + 0.2973 = 0.2373m$$

$$C(0.9R) = -0.096 * 1.125 + 0.2973 = 0.1893m$$

$$C_{extremo} = -0.096 * 1.25 + 0.2973 = 0.1773m$$

$$\beta_{raiz} = -20.6 * 0.125 + 51.2 = 48.6^\circ$$

$$\beta(0.5R) = -20.6 * 0.625 + 51.2 = 38.3^\circ$$

$$\beta(0.9R) = -20.6 * 1.125 + 51.2 = 28^\circ$$

$$\beta_{extremo} = -20.6 * 1.25 + 51.2 = 25.5^\circ$$

El resultado de la linealización se muestra en la figura donde aparece la forma del alabe y el alabeo:

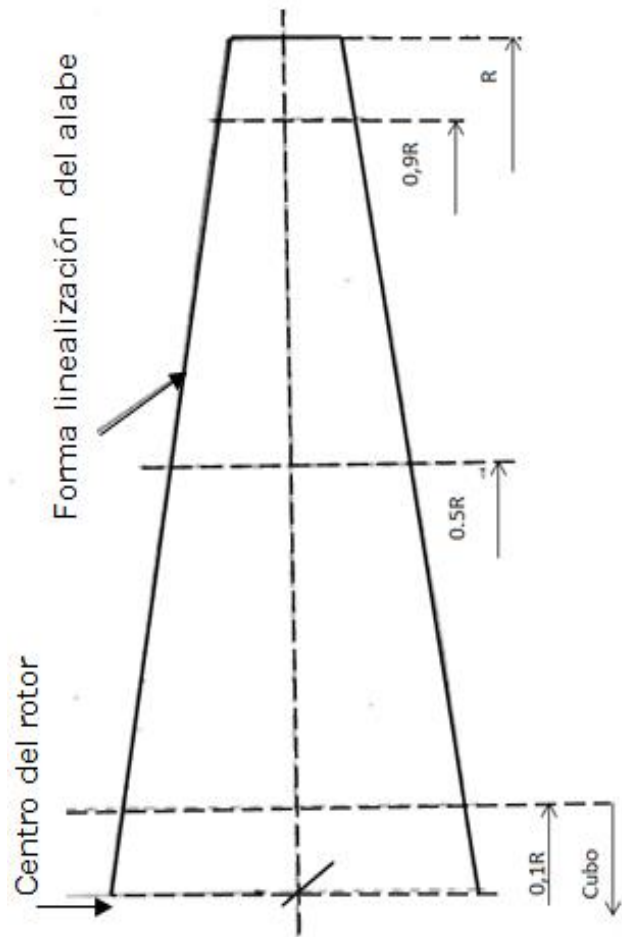


Fig. 6.2 Linealización y curvatura del alabe.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

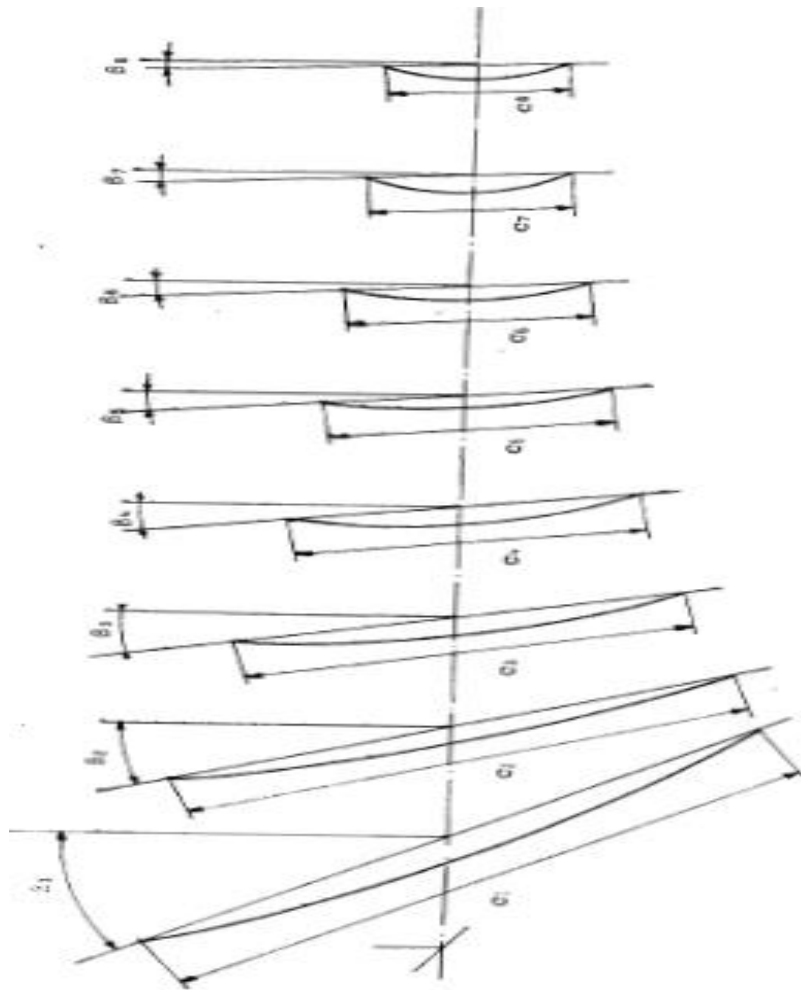


Figura 6.3 Forma del alabe, curvatura, y secciones transversales.

Fuente : Egdo. Daniel Guananga.

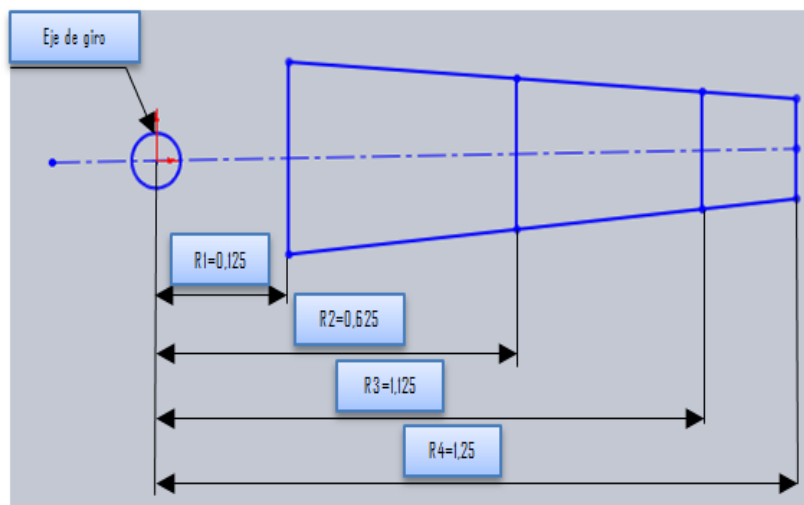


Figura 6.4 Vista superior de la pala, radios a diferentes secciones.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

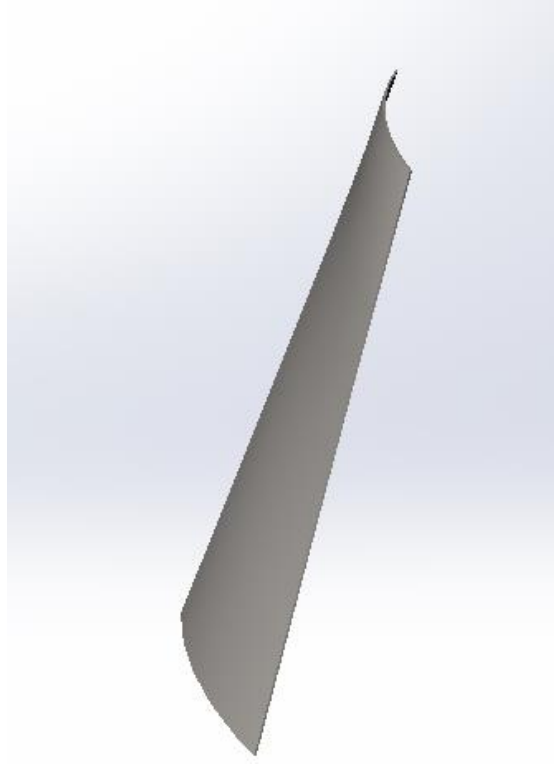


Fig. 6.5 Vista 3D de la pala.
Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Material de la aleta.

Una vez diseñada la forma de la aleta de la eólica, el siguiente paso es tratar de seleccionar el material más adecuado para la fabricación de la misma.

El material utilizado para las palas debe ser:

- ✓ Ligero.
- ✓ Indeformable.
- ✓ Resistente a la fatiga mecánica.
- ✓ Resistente a la erosión y a la corrosión.
- ✓ Costo bastante bajo para que la eólica se pueda construir.

En nuestro caso lo aconsejable y más económico sería construir una pala de tol galvanizado debido a sus propiedades fabulosas entre las que se encuentra su gran resistencia a la abrasión, así como también a la corrosión.

Esta última característica produce tres excelentes efectos:

- ✓ La “protección por efecto de barrera” consta en la aislación frente a un medio ambiente que podría ser bastante agresivo.
- ✓ La “protección catódica o de sacrificio” es aquella en la que el zinc se comporta

como la parte anódica de la corrosión, de este modo, mientras haya recubrimiento de zinc, entonces el acero estará protegido.

- ✓ La “restauración de zonas desnudas” se refiere a que la corrosión del zinc logra tapar aquellas discontinuidades que pueden existir en el recubrimiento a causa de la corrosión u otro tipo de daños, golpes fuertes²².

Coefficiente de solidez.

Se entiende por coeficiente de solidez al porcentaje total de área geométrica solida del alabe que existe dentro del área de barrida por giro del rotor eólico, por lo que es necesario calcular la solidez del mismo.

$$\Omega = \frac{n * c}{\pi * R} \quad (6.12)$$

Dónde:

Ω = Coeficiente de solidez.

n = Número de palas.

c = Cuerda del perfil.

R = Radio del rotor.

$$\Omega = \frac{12 * 0.389}{\pi * 1.25}$$

$$\Omega = 1.18$$

Superficie total de las palas.

Para esta sección se realiza un cálculo muy sencillo que se efectúa por medio de la siguiente expresión.

$$A_{FA} = \Omega * A_{barrida} \quad (6.13)$$

$$A_{FA} = 1.189 * 4.9 \text{ m}^2$$

$$A_{FA} = 5.8 \text{ m}^2$$

Como se trata de una máquina de 12 palas la superficie de cada pala será igual:

$$A_p = \frac{5.8 \text{ m}^2}{12}$$

$$A_p = 0.46 \text{ m}^2$$

²² [www.propiedades de -el-acero-galvanizado.html](http://www.propiedades-de-el-acero-galvanizado.html)

6.6.1.1 Fuerzas que actúan sobre el perfil.

Fuerza aerodinámica en movimiento.

Está definida como la resistencia que presenta un rotor eólico en rotación inmersos en una corriente de aire a cierta velocidad, por lo que en esta sección se realiza el cálculo de la fuerza en las condiciones a las que está sometido el alabe.

$$F_{aero} = 0.062 A * V^2 \quad (6.14)$$

$$F_{aero} = 0.062 * 4.9 * 6.1^2$$

$$F_{aero} = 11.3 \text{ kg.}$$

Como la maquina tiene 12 palas, la fuerza aerodinámica correspondiente a cada una de ellas será de: 0.95 kg.

Fuerza estática aerodinámica.

Se debe considerar que si el rotor eólico se encuentra parado, pero inmerso en una corriente de aire a cierta velocidad se presenta una resistencia estática aerodinámica por cada alabe.

$$F_{est\ aerrd} = 2 \Omega F_{aerod\ mov.} \quad (6.15)$$

$$F_{est\ aerrd} = 2 * 1.189 * 11.3 \text{ kg.}$$

$$F_{est\ aerrd} = 26.87 \text{ kg.}$$

6.6.1.2 Espesor del perfil.

Para cálculo del espesor del perfil se tomara en cuenta un factor de seguridad de intervalos de $2 \leq \eta \leq 8$ ya que se trata de una columna con espesores delgados (columna de Euler) se deben considerarse factores de seguridad muy amplios.

Material = ASTM A36

Sy = 75 Kpsi (248.207 Mpa)

E = $207 * 10^9$ Mpa.

C = Condición de extremos.

La ecuacion que debe utilizarse para definir la carga critica en este caso de columnas es

$$\eta = \frac{P_{cri}}{P} \quad (6.16)$$

Dónde:

$\eta = 4$ Para diseño de columnas.

$P = 58.42$ Psi Carga real de la columna.

$$P_{cri} = 235.66Psi$$

Utilizamos la ecuación de Euler para determinar I:

$$I = \frac{P_{cri}l^2}{C \pi^2 E} \quad (6.17)$$

$$I = 4.81 \cdot 10^{-4} \text{ pulg}^4$$

Donde:

$I =$ Momento de inercia.

$l =$ Longitud de la columna.

$C =$ Condición de extremos.

Tabla 6-3 Constantes de condiciones de extremos para columnas de Euler.

Constante C			
Condiciones de los extremos de columnas	Valor teórico	Valor conservador	Valor recomendado
Empotrado - libre	1/4	1/4	1/4
Redondeado - redondeado	1	1	1
Empotrado - redondeado	2	1	1.2
Empotrado - empotrado	4	1	1.2

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica. Cuarta edición de Joseph Edward Shigley.

Momento de inercia de una sección rectangular, con respecto al eje más débil:

$$I = \frac{wt^3}{12} \quad (6.18)$$

$$t = 0.068 \text{ pulg.} \approx 1.6 \text{ mm.}$$

Dónde:

$w =$ Ancho 15.31 pul.

$t =$ Espesor.

$I =$ Momento de inercia.

El radio de giro correspondiente a este espesor es:

$$k = 0.289 t$$

$$k = 0.0197 \text{ pulg}$$

Por lo tanto la relación de esbeltez:

$$\frac{l}{k} = \frac{24.6}{0.0197} = 1248.7$$

Comprobación si se trata de una columna de Euler:

$$\left(\frac{l}{k}\right)_1 = \sqrt{\frac{2C\pi^2 E}{sy}} \quad (6.19)$$

$$\left(\frac{l}{k}\right)_1 = 98.73$$

Velocidad periférica del viento sobre el alabe.

$$u = \frac{\pi R n}{30} \quad (6.20)$$

Tabla 6.4 Cálculo de la velocidad periférica.

Sección	Radios (m)	Rpm	velocidad periférica (m/s)
1	0.125	46.6	0.61
2	0.625	46.6	3.05
3	1.125	46.6	5.49
4	1.25	46.6	6.09

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Velocidad aparente del viento.

De acuerdo al triangulo de velocidades tendremos:

$$C = \sqrt{U^2 + V^2} \quad (6.21)$$

Tabla 6.5 Cálculo de la velocidad aparente del viento.

sección	Radios (m)	Velocidad aparente (m/s)
1	0.125	6.13
2	0.625	6.82
3	1.125	8.21
4	1.25	8.62

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Tabla 6.6 Tabla de triangulo de velocidades.

sección	Radio	U(m/s)	V(m/s)	C(m/s)
1	0.125	0.61	0.61	6.13
2	0.625	3.05	0.61	6.82
3	1.125	5.49	0.61	8.21
4	1.25	6.09	0.61	8.62

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

6.6.1.3 Fuerzas sobre el perfil en movimiento.

Fuerza par.

Donde la par es una fuerza útil para el giro de la turbina, paralela a la velocidad del viento creada por el desplazamiento de giro del alabe. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$F_{par} = \frac{1}{2} \rho v^2 dS C_y \frac{\sin(\theta-\alpha)}{\sin^2\theta \cos\alpha} \quad (6.22)$$

Dónde:

$$dS = C \cdot r$$

$$\rho = 0.0899 \frac{kg}{m^3}$$

$$v = 6.1 \text{ m/s}$$

$$C_L = C_Y = 0.9$$

$$C_D = C_X = 0.018$$

Tabla 6.7 Obtención de fuerzas par.

sección	R c	fuerza par (N)
1	0.0357	0.6893
2	0.1483	3.3302
3	0.2129	5.8919
4	0.2216	6.4405

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Fuerza axial.

Es la que se manifiesta como un empuje del viento sobre el rotor, que es compensada por la reacción del soporte del eje del rotor. Se obtiene en base a la siguiente ecuación:

$$F_{axial} = \frac{1}{2} \rho dS C_y \frac{\cos(\theta-\alpha)}{\sin^2 \theta \cos \alpha} \quad (6.23)$$

Tabla 6.8 Obtención de fuerzas axiales.

sección	R c	Fuerza axial (N)
1	0.0357	0.6398
2	0.1483	4.8509
3	0.2129	12.521
4	0.2216	14.786

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Fuerzas de arrastre y ascensional.

Fuerza de arrastre.

Se obtiene cuando un viento de velocidad aparente (c) pasa a la salida de un perfil móvil, esta fuerza corresponde a una degradación de energía y está dada por.

$$F_{axial} = \frac{1}{2} C_x \rho c^2 dS \quad (6.24)$$

Tabla 6.9 Obtención de fuerzas arrastre.

sección	R *c	velocidad aparente(m/s)	Fuerza de arrastre(N)
1	0.0357	6.13	0.01085
2	0.1483	6.82	0.05581
3	0.2129	8.21	0.1161
4	0.2216	8.62	0.1332

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Fuerza ascensional.

Llamada de sustentación o empuje, la cual se encarga de provocar el giro en la turbina, esta fuerza aumenta con el ángulo de ataque α hasta un máximo y después disminuirá.

$$F_{ascensional} = \frac{1}{2} C_y \rho c^2 dS \quad (6.25)$$

Tabla 6.10 Obtención de fuerzas ascensional.

sección	R *c	velocidad aparente(m/s)	Fuerza de arrastre(N)
1	0.0357	6.13	0.5427
2	0.1483	6.82	2.7886
3	0.2129	8.21	5.8054
4	0.2216	8.62	6.6613

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

6.6.2 Dimensionamiento del sistema hidráulico.

Los parámetros necesarios para dimensionar un sistema de Aerobombeo son:

- ✓ Caudal requerido en el lugar donde se vaya a ubicar la turbina.
- ✓ Altura de bombeo total.

Para conocer el punto de funcionamiento de la instalación en su totalidad es necesario conocer las características de las partes motrices que integran la Aerobomba así como del sistema hidráulico.

Para calcular la energía necesaria de bombeo de agua, se necesita estimar las fuerzas que intervienen en el sistema hidráulico. Para lo cual se ha realizado un esquema explicativo que permitirá comprender el funcionamiento del sistema.

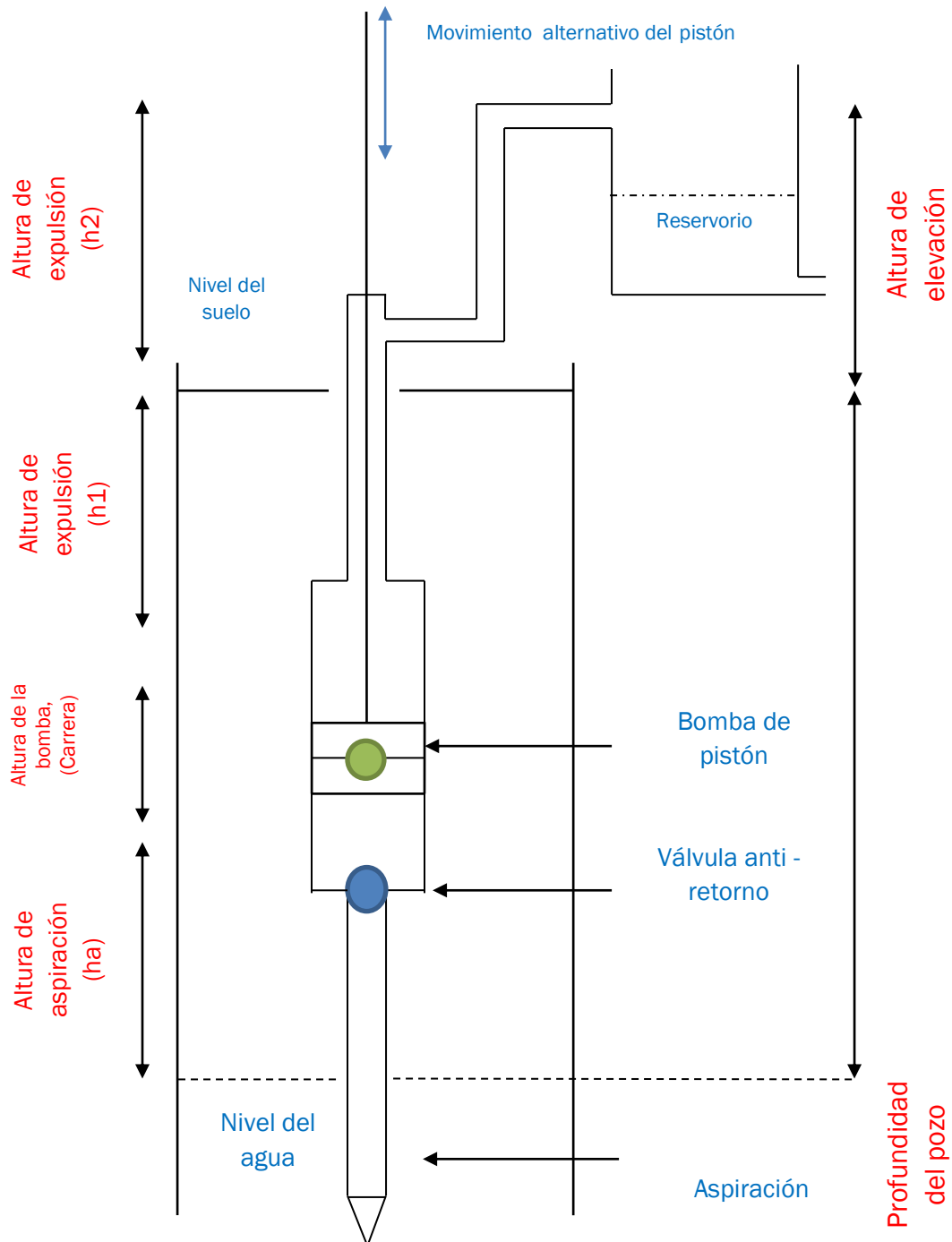


Fig. 6.6 Esquema hidráulico.
Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Selección de la bomba de pistón.

Para seleccionar la bomba se debe conocer los siguientes parámetros:

El caudal requerido en el lugar donde se realizó los estudios, es de $12.6 \text{ m}^3/\text{dia} \cdot 4.37 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$. = 1570 lt/h. trabajando 8 horas diarias para satisfacer las necesidades de riego ya que se trata de una finca agrícola.

Para seleccionar un diámetro de la bomba acorde con los requerimientos citados, se debe revisar las tablas de especificaciones de fabricantes de bombas.

Tabla 6.11 Capacidad de bombeo. Relación del diámetro del cilindro y rotor de la aerobomba.

CAPACIDAD DE BOMBEO								
Diámetro de interior de la bomba	Capacidad en litros por hora	Altura en metros a que puede elevarse el agua						
		DIÁMETRO DEL ROTOR						
	6 pies	8 pies	6 pies	8 pies	10 pies	12 pies	14 pies	16 pies
2 ¹ / ₄	680	1000	23	34	52	77	110	180
2 ¹ / ₂	850	1230	20	29	43	65	92	150
2 ³ / ₄	1000	1460	17	25	37	55	80	130
3	1200	1780	14	21	31	47	67	110
3 ¹ / ₄	-----	2075	-----	-----	27	40	57	93
3 ¹ / ₂	1670	2420	11	15	23	35	49	82
3 ³ / ₄	-----	2750	-----	-----	20	30	44	70
4	2150	3150	8	12	18	26	38	61

Fuente: Utilización de energía renovable para bombear agua, Juan Enciso y Michael Mecke.

Para la necesidad de 1.570 lt/h una bomba coherente, es la que tiene un diámetro interior de 3 pulgadas con una capacidad de 1780 litros / hora, altura a la que puede elevarse el agua es de 21 m. con un diámetro de rotor recomendado de 8 pies = 2.5 m.

Fuerzas que actúan en la bomba.

Existen fuerzas que intervienen en el momento en que la bomba está trabajando, aumentando la carga, para poder determinar el par necesario para que entre en movimiento el rotor es indispensable calcular las siguientes fuerzas:

- *La presión de la columna de agua en las tuberías.*
- *El peso de la varilla de transmisión y el pistón.*
- *Las pérdidas de carga debido a la viscosidad del fluido.*
- *La inercia del pistón y varilla de transmisión.*

Fuerza en el pistón debido a la columna de agua.

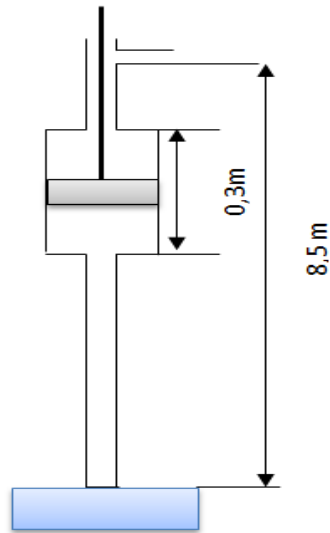


Fig. 6.2 Desplazamiento del pistón en función del ángulo de rotación.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Potencia requerida por la bomba, (ecuación de Bernoulli):

$$\frac{P}{\gamma} = \frac{V_{fluido}^2}{2g} + h + \frac{k * V_{fluido}^2}{2g} \quad (6.26)$$

Dónde:

P = Presión (N/m^2).

v_f = Velocidad del fluido (m/s).

h = Altura de bombeo (m).

k = Coeficiente de pérdidas en ductos lisos 0.28.

γ = Peso específico (N/m^3).

g = Gravedad (m/s^2).

Peso específico del agua ($\gamma = 9810 \frac{N}{m^3}$).

Velocidad del fluido:

$$V_{fluido} = \frac{Q}{A_t} \quad (6.27)$$

Dónde:

Q = Caudal $\frac{m^3}{s}$.

A_t = (Diámetro de la tubería $1 \frac{1}{4}$ pulg. $\approx 0.032m$), Área de la tubería $7.92 * 10^{-4} m^2$.

Remplazando en la ecuación:

$$V_f = \frac{2.92 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{7.92 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$
$$V_f = 0.37 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Remplazando en (6.26):

$$\frac{P}{\gamma} = \frac{(0.37 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} + 15 + \frac{(0.28 * (0.37 \text{ m/s}^2)^2)}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2}$$
$$\frac{P}{\gamma} = 15.02 \text{ m}$$

Donde la presión es:

$$P = \gamma * 15.01 \text{ m}$$
$$P = 147248 \text{ N/m}^2$$

Fuerza en el pistón debido a la columna de agua en la tubería:

$$F_1 = P * A_t \tag{6.28}$$
$$F_1 = 116.6 \text{ N}$$

Fuerza del agua contenida en la bomba:

$$F_2 = A_b * h_b * \rho_{\text{agua}} * g \tag{6.29}$$

Dónde:

$A_b = \text{Área de la bomba (m}^2\text{)}.$

$h_b = \text{Altura de la bomba (m)}.$

Área de la bomba:

$d_b = \text{Diámetro interno de la bomba: 3 pulgadas} = 0.075 \text{ m}.$

$$A = \frac{\pi * d_b^2}{4} \tag{6.30}$$

$$A = \frac{\pi * (0.075 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 4.4 * 10^{-3} m^2.$$

Remplazando valores en la ecuación (6.29):

$$F_2 = 4.4 * 10^{-3} m^2 * 0.3 m * 1000 kg / m^3 * 9.81 \frac{m}{s^2}.$$

$$F_2 = 12.9 N.$$

Fuerza total en el pistón debido a la columna de agua:

$$F_3 = F_1 + F_2 \quad (6.31)$$

$$F_3 = (116.7 + 12.9) N.$$

$$F_3 = 129.5 N.$$

Volumen de carga de la bomba.

Según el fabricante ²³ la bomba está construida para trabajar con carrera máxima $S = 0.20$ m. se consideró que la bomba trabaje con $S = 0.10$ m para satisfacer el caudal requerido $12.6 m^3 / \text{día}$, trabaja aproximadamente 8 horas diarias, por lo que necesita un caudal entregado por la bomba de $0.0263 \frac{m^3}{\text{min}}$.

Volumen de carga de la bomba en cada revolución del rotor:

$$v_b = A * S \quad (6.32)$$

$$v_b = 4.4 * 10^{-3} m^2 * 0.1 m$$

$$v_b = 4.4 * 10^{-4} m^3.$$

Dónde:

$v_b =$ Volumen de la bomba en cada revolución (m^3).

$S =$ Carrera del pistón (m).

Número de rpm (n) del rotor necesario para obtener el caudal requerido:

$$n = \frac{\text{volumen requerido por min.}}{\text{volumen entregado por rev.}} \quad (6.33)$$

$$n = \frac{0.0263 m^3 / \text{min.}}{4.4 * 10^{-4} m^3 / \text{rev.}}$$

²³ Industrias J&M.

$$n = 59.8 \text{ rpm} = 375.1 \text{ rad/min} = 6.2 \text{ rad/s.}$$

6.6.2.1 Pérdidas.

Pérdida de carga debido a la viscosidad del fluido. La bomba funciona de manera alternativa y el flujo de fluido no está en paso permanente.

Perímetro de giro del sistema de manivela.

$$P = \pi * s \quad (6.34)$$

$$P = \pi * 0.1 \text{ m.}$$

$$P = 0.314 \text{ m.}$$

El pistón tiene una velocidad variable, para la cual se debe calcular la velocidad máxima del pistón y el ángulo de giro de la manivela.

Calculo de las pérdidas hidráulicas:

$$V_p = \omega * r * \text{sen } \alpha + \lambda * \text{sen} \alpha * \text{cos} \alpha \quad (6.35)^{24}$$

Dónde:

V_p = Velocidad del pistón (m/s).

ω = Velocidad de giro del rotor 6,1 (rad/ s).

r = Radio de la manivela 0.05 (m).

α = Angulo de giro de la manivela con respecto a la vertical (rad).

λ = Relación entre la longitud de la manivela y la biela 0.23.

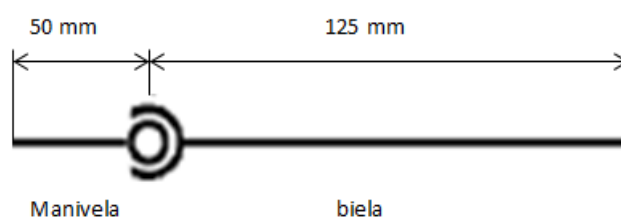


Fig. 6.8 Relación entre la longitud entre la biela y la manivela.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Remplazando valores en (6.35) se obtiene y comprueba gráficamente la máxima velocidad alcanzada por el pistón en el ángulo de giro de la manivela:

²⁴ Cinemática y dinámica del motor.

$$V_p = 0.37 \text{ m/s} \quad \text{Aproximadamente a } 60^\circ$$

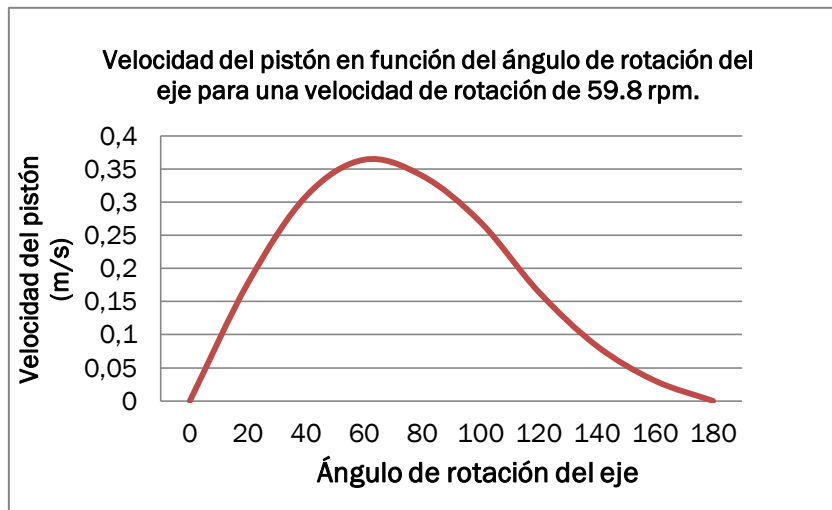


Gráfico 6.1 Velocidad del pistón en función del ángulo de rotación.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

6.6.2.2 Pérdidas de carga regulares.

$$J = \varphi * \frac{L}{D_t} * \frac{V_f^2}{2g} \quad (6.36)^{25}$$

Dónde:

J = Pérdida de carga regular (m).

φ = Coeficiente de fricción.

d_t = Diámetro del tubo (m).

v_f = Velocidad del fluido (m/s).

Altura de aspiración, ha.

La velocidad del fluido $v_f = 0.37 \text{ m/s}$ para la tubería de diámetro de $1\frac{1}{4}'' \approx 0.032 \text{ m}$:

El número de Reynolds (Re), relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión a dimensional. Dicho número relaciona si el flujo es laminar o turbulento.

- ✓ Para valores de Re menores o iguales a 2000 el flujo es laminar.
- ✓ Para valores de Re mayores 4000 el flujo es turbulento.

²⁵ Martínez Alzamora –Fernández Bono U. Politécnica de Valencia, Pérdidas de carga en tuberías y coeficientes de rugosidad.

- ✓ Para valores de Re entre 2000 y 3000 el flujo se encuentra en una zona de transición en la cual el flujo para cálculo de pérdidas por fricción puede se considera turbulento.

$$Re = \frac{V_f * D_t}{u} \quad (6.37)$$

$$Re = \frac{0.55 \frac{m}{s} * 0.032m.}{1.106 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re = 10705 > 4000 \text{ (flujo turbulento)}^{26}.$$

Dónde:

$V_f =$ Velocidad del fluido en una sección de la tubería (m/s.).

$u =$ Viscosidad cinemática del agua a 16°C. ($1.106 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}$).

$d_t =$ Diámetro de la tubería (m).

Coefficiente de fricción para los diferentes tramos de tubería:

$$\varphi = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad (6.38)$$

$$\varphi = 0.031$$

Remplazando valores en (6.36) para $h_a = 5$ m:

$$J = \varphi * \frac{L}{D_t} * \frac{V_f^2}{2g}$$

$$J = 0.036 \text{ m.}$$

Altura de descarga 1 hd.

Esta sección de tubería será construida en P.V.C. El vástago de la bomba tiene un diámetro de 0.02 m. Está se encuentra dentro de la canalización de descarga, el diámetro de la tubería de 0.038 m $\approx 1 \frac{1}{2}$ pulg.

Radio Hidráulico.

Es el cociente entre el área de la sección mojada y el perímetro mojado. El perímetro mojado es el contorno de la sección que está en contacto con el agua.

²⁶ Msc. Álvaro Aguinaga Barragán, Curso “válvulas ,compresores y bombas ”

Cuando el fluido es transportado a través de un conducto de sección no circular o en su interior trabaja otro elemento en este caso el vástago de la bomba, el diámetro característico del tamaño del conducto se llama Radio hidráulico (H_R)²⁷.

El radio hidráulico es igual a:

$$H_R = \frac{A}{P_M} \quad (6.39)$$

Dónde:

A = Diferencia de áreas (vástago y tubería) (m^2).

P_M = Perímetro mojado.

Perímetro mojado²⁸

$$P_M = \pi(d_t + d_v) \quad (6.40)$$

$$P_M = \pi * (0.038 \text{ m} + 0.02 \text{ m})$$

$$P_M = 0.182$$

Dónde:

d_t = Diámetro del tubo (m).

d_v = Diámetro del vástago (m).

Remplazando valores en (6.39):

$$H_R = \frac{\left(\frac{\pi * 0.02^2}{4} - \frac{\pi * 0.038^2}{4} \right) m^2}{0.182 \text{ m}}$$

$$H_R = 4.5 * 10^{-3} \text{ m.}$$

Número de Reynolds asociado con la salida de fluido:

$$Re = \frac{V_{fluido} * RH}{u} \quad (6.41)$$

$$Re = \frac{0.55 \frac{m}{s} * 4.5 * 10^{-3} \text{ m}}{1.106 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re = 1547 < 2000 \text{ (flujo laminar)}$$

²⁷ Petroecuador, operación y control en sistemas de poliductos.

²⁸ Se define como la suma de la longitud de los límites de la sección que realmente está en contacto con el líquido

Dónde:

$V_f =$ Velocidad del fluido de descarga (m/s).

$R_H =$ Diámetro característico de la canalización de descarga (m).

$u =$ Viscosidad cinemática del agua a 16 °C.

En este caso por tratarse de flujo laminar se aplica la siguiente fórmula para determinar el coeficiente de fricción:

$$\varphi = \frac{64}{Re} \quad (6.42)$$

$$\varphi = \frac{64}{1547}$$

$$\varphi = 0.041$$

Remplazando valores en (6.36) para determinar la pérdida regular en esa sección con longitud de canalización de 0.5 m. se tiene:

$$J = \varphi * \frac{L}{D_t} * \frac{V_f^2}{2g}$$

$$J = 4.0 * 10^{-3} \text{m}$$

Altura de descarga 2, hd.

Esta sección de tubería se construirá en tubería P.V.C con un diámetro de 0.032 m \approx 1¼'' debido a que la salida de la bomba es del diámetro indicado.

Remplazando valores en (6.41):

$$Re = \frac{V_f * D_t}{u}$$

$$Re = 10331 > 2000 \text{ (flujo turbulento)}$$

Remplazando valores en ecuación (6.38) para conducto de salida no rugoso, se obtiene:

$$\varphi = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$$

$$\varphi = 0.031$$

Remplazando valores en la ecuación (6.36), las pérdidas de carga equivalentes para 15 m de tubería en derivación son:

$$J = \varphi * \frac{L}{D_t} * \frac{V_f^2}{2g}$$

$$J = 0.107 \text{ m}$$

6.6.2.3 Pérdidas de cargas singulares o localizadas.

(Anexo 6)

Las pérdidas en cada uno de los elementos que componen el sistema de tuberías, son características de la velocidad del fluido y la forma del componente.

Pérdidas de carga singular o localizada.

$$J = k * \frac{V_f^2}{2g} \quad (6.43)$$

Dónde:

J = Pérdida singular (m).

k = Coeficiente de pérdidas para accesorios.

Coefficientes de pérdidas de carga en accesorios:

Tabla 6.2 Coeficiente de pérdidas de carga.

Válvula de anti- retorno	5
Ensanchamiento	0.56
Contracción	0.32
Te y codo	1.8
Perdida de energía cinética a la salida al reservorio	1

Fuente: www.perdidashidraulicas.com

Tabla 6.3 Coeficiente de pérdidas de carga II.

Aspiración	Descarga
Válvula de pie 0.07 m (k= 4)	Contracción 0.004 m (k=0.19)
Perdida a la entrada 0.009 m (k =0.5)	Entrada a hr ₂ + anti retornó 0.009 m (k=0.5) + 0.19 (k=10)
Ensanchamiento 0.01 m (k= 0.56)	Perdida a la carga = 0.019 m(k=1)
Total de perdidas singulares de aspiración = 0.09	Total de perdidas singulares de descarga 0.22m
Total de perdidas regulares J= 0.036 m	Total de perdidas regulares J= 0.111 m
Total de pérdidas de aspiración = 0.13	Total de perdidas descarga = 0.33 m
Total de perdidas = 0.46 m	

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Fuerza generada por las pérdidas²⁹:

$$F_{\text{per}} = \rho_{\text{agua}} * g * (Jh_{\text{asp}} * A_b + Jh_{\text{des}} * A_b) \quad (6.44)$$

$$F_{\text{per}} = 1000 \text{ kg/m}^3 * 9.81 \text{ m/s}^2 * (0.13 \text{ m} * 0.0044 \text{ m}^2 + 0.33 \text{ m} * 0.0044 \text{ m}^2)$$

$$F_{\text{per}} = 19.9 \text{ N}$$

Dónde:

ρ = Densidad del agua (kg/m^3).

g = Gravedad (m/s^2).

A_b = Área de la bomba (m^2).

Jh_{asp} = Perdidas en la altura de aspiración (m).

Jh_{des} = Perdidas en la altura de descarga (m).

6.6.3 Dimensionamiento del sistema de transmisión (eje de transmisión y pistón).

Están sometidos a aceleración que provoca fuerza opuesta a su movimiento.

$d_{\text{varilla}} = 0.013 \text{ m}$	$\text{long.} = 10 \text{ m}$	$d_{\text{pistón}} = 0.075 \text{ m}$	$h = 0.04 \text{ m}$.
--	-------------------------------	---------------------------------------	------------------------

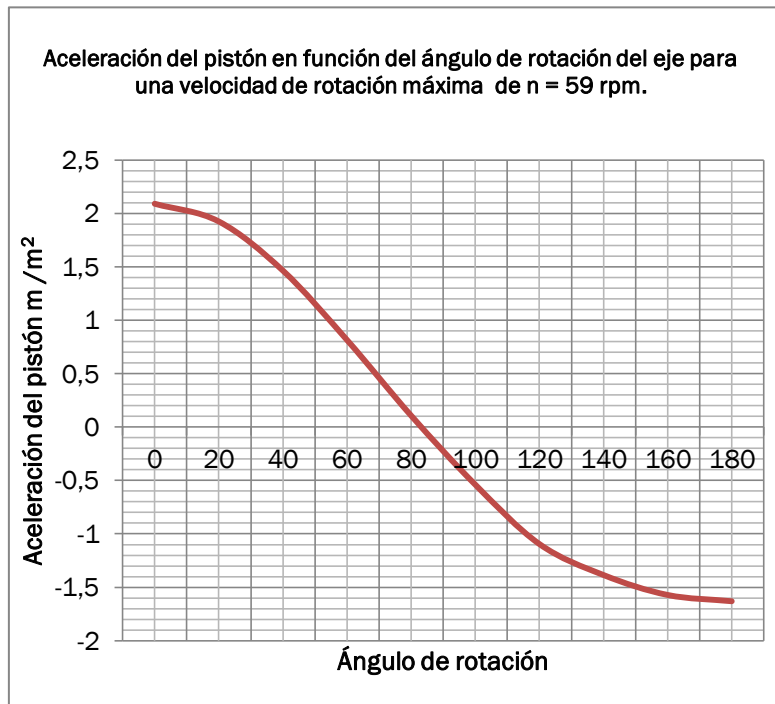


Gráfico 6.2 Aceleración del pistón en función del ángulo de rotación.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Aceleración del pistón en cualquier punto de giro de la manivela:

²⁹ André Lallemand, Arthur Gauvain, Estudio y concepción de una turbina eólica de bombeo

$$a = \omega * r * (\cos\alpha + \lambda \cos 2\alpha) \quad (6.45)^{30}$$

Dónde:

ω = Velocidad angular del rotor (6,1 rad /s).

r = Radio de la manivela (0.05m).

α = Ángulo girado por el cigüeñal contado desde el punto muerto superior.

λ = Relación entre la longitud de la biela y la manivela (0.23).

La aceleración máxima del pistón para una rotación de 59.8 rpm es de 2.09 m/s².

Fuerza de inercia generada por el pistón:

$$F_i = m * a \quad (6.46)$$

En el sistema biela-manivela hay partes que están sometidas a movimiento alterno como son el pistón, bulón, pie de biela etc. La manivela, pie de biela están sometidas a una fuerza centrífuga expresada mediante la ecuación:

$$F_c = m_c * \omega^2 * r_c \quad (6.47)$$

Dónde:

ω = Velocidad angular.

m_c = Masa de movimiento centrifugo(fuerza circular)(kg).

r_c = Distancia desde el centro de gravedad al eje de giro(m).

Como norma se considera que³¹:

- Masas con movimiento alternativo: pistón, bulón del pistón, 2/3 de la biela.
- Masas con movimiento circular, manivela, 1/3 de la biela.

Determinación de las masas con movimiento circular:

- Masa de la manivela = 1.1 kg.
- 1/3 de la masa de transmisión = 3.5 kg.

Total = 4.6 masa con movimiento circular.

Determinación de las masas con movimiento alterno:

³⁰ Ingoldaracena, cinemática y dinámica

³¹ Ingoldaracena, cinemática y dinámica pg. 4.

- Pistón = 1 kg.
- Bulón del pistón = 2.5 kg.
- 2/3 de la masa de la varilla de transmisión = 7.0 kg.

Total = 10.5 kg masa con movimiento alternativo.

Fuerza alterna de inercia:

$$F = m * a_{\text{máx}} \quad (6.48)$$

Dónde:

F = Fuerza alterna de inercia (N).

m_a = Masa con movimiento alterno (fuerza circular)(kg).

a_{max} = Aceleración máxima del pistón (m/s^2).

Remplazando valores en la ecuación (6.46) se obtiene:

$$F_i = 10.5 \text{ Kg} * 2.09 \text{ m/s}^2$$

$$F_i = 21.9 \text{ N.}$$

Remplazando valores en la ecuación (6.47) se obtiene:

$$F_c = m_c * \omega^2 * r_c$$

$$F_c = 4.6 \text{ kg} * (6.1 \text{ rad/m})^2 * 0.05 \text{ m}$$

$$F_c = 8.6 \text{ N.}$$

Fuerza de fricción.

La fuerza de fricción aparece cuando hay dos cuerpos en contacto, en el caso de la bomba los elementos en contacto son el empaque del pistón y el cilindro.

En Y intervienen las siguientes fuerzas: el peso del pistón y la fuerza de rozamiento:

$$P - F_r = m_{\text{pistón}} * a$$

Dónde:

Masa del pistón = 3.5 kg

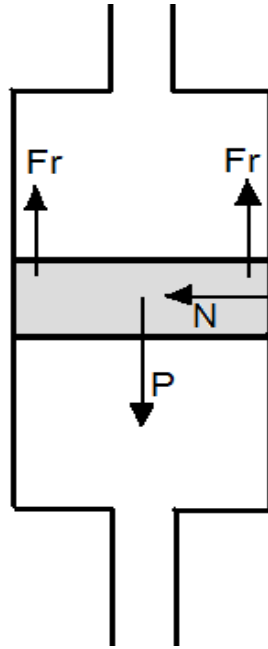


Fig. 6.9 Fuerzas actuantes en el pistón.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Remplazando valores.

$$P_{\text{pistón}} = m_{\text{pistón}} * a$$

$$P_{\text{pistón}} = 3.5 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$P_{\text{pistón}} = 34.3 \text{ N.}$$

Despejando y remplazando

$$F_r = P - m_{\text{pistón}} * a$$

$$F_r = 34.3 \text{ N} - 3.5 \text{ kg} * 2.09 \text{ m/s}^2$$

$$F_r = 27 \text{ N.}$$

Peso propio de los elementos.

$$F_{\text{ele}} = m_{\text{ele}} * g \tag{6.49}$$

$$F_{\text{ele}} = 15.3 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{\text{ele}} = 150.1 \text{ N.}$$

Dónde:

m_{ele} = Masa de elementos (kg).

Masa de la manivela = 1.1 kg.

Masa de la varilla de transmisión = 10.7 kg.

Masa del pistón = 3.5 kg.

Masa total de los elementos = 15.3 kg.

Fuerza de bombeo necesaria:

$$F_b = F_{\text{pistón}} + F_{\text{per}} + F_i + F_r + F_{\text{ele}} \quad (6.50)$$

$$F_b = (129.5 + 19.9 + 21.9 + 27 + 150.1) \text{ N}$$

$$F_b = 348.4 \text{ N.}$$

Dónde:

F_b = Fuerza total de bombeo (N).

$F_{\text{pistón}}$ = Fuerza de la columna de agua sobre el pistón (N).

F_{per} = Fuerza generada por las pérdidas hidráulicas (N).

F_i = Fuerza de inercia (N).

6.6.4 Sistema de transmisión.

Biela ó varilla de transmisión.

La biela es el elemento que permite la transmisión de movimiento de rotación del rotor hacia la bomba, sufrirá un esfuerzo a fatiga porque se somete la fuerza de una manera cíclica. La biela sufre tracción de $F_b = 348.4 \text{ N}$.

Datos del material:

H = 10 m

D = 0.013m

Acero ASTM A36 (Anexo 8)

Fy= 36 Kpsi

Fu= 50 Kpsi

E= 207 Gpa

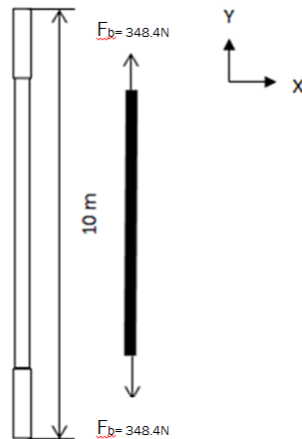


Fig. 6.10 Esquema de fuerzas ejercidas sobre la biela.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Peso de la varilla de transmisión:

$$P_{\text{varilla}} = \rho_{\text{acero}} * V_{\text{var}} * g \quad (6.51)$$

$$P_{\text{varilla}} = 7800 \text{ kg/m}^3 * (\pi * \frac{(0.013 \text{ m})^2}{4} * 10 \text{ m}) * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$P_{\text{varilla}} = 101.6 \text{ N.}$$

El área que opone resistencia a la fuerza de tracción es la sección circular transversal de la barra:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (6.52)$$

$$A = \frac{\pi * 0.013^2 \text{ m}^2}{4}$$

$$A = 1.33 * 10^{-4} \text{ m}^2.$$

Tensión por tracción es:

$$\sigma = \frac{T}{A_{\text{varilla}}} \quad (6.53)$$

$$\sigma = \frac{348.4 \text{ N}}{1.33 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\sigma = 2.6 \text{ MPa.}$$

Dónde:

σ = Tensión por tracción (MPa).

T = Tensión o fuerza aplicada (N).

Deformación debido a la carga axial de tracción:

$$\delta = \frac{\sigma * L}{E} \quad (6.54)$$

$$= \frac{2.6 * 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 10 \text{ m}}{207 * 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

$$\delta = 1.3 * 10^{-4} \text{ m}$$

$$\delta = 0.13 \text{ mm.}$$

Dónde:

δ = Deformación (m).

L = Longitud de la varilla (m).

E = Módulo de elasticidad (GPa.).

Carga permisible o tolerable:

$$T = (0,6 * Fy) * V_{varilla} \quad (6.55)$$

$$T = \left(0.6 * 25 * 10^6 \frac{kg}{m^2}\right) * (1.33 * 10^{-4} m^2)$$

$$T = 1995 \text{ kg.}$$

$$T = 19571 \text{ N.}$$

La carga permisible es mayor a la carga real aplicada en el elemento:

$$T = 19571 \text{ N} > F_b = 348.4 \text{ N.}$$

6.6.5 Diseño de la manivela.

En el sistema biela - manivela intervienen varias fuerzas de las cuales varias ya fueron calculadas anteriormente.

Carga total necesaria de la bomba para lograr el bombeo, en esta carga están incluidas todas las fuerzas.

$$p_u = 175.3 \text{ W Ya determina.}$$

Dónde:

$P_u = \text{Potencia útil (w)}$.

Análisis de elementos que conforma la manivela.

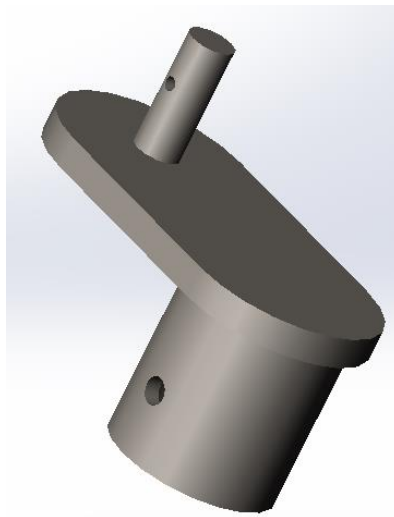


Fig. 6.11 Esquema de la manivela.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

En la figura (6.12) se observa el esquema de fuerzas y distancias correspondientes a determinar los momentos que afectan a cada uno de los componentes de la manivela.

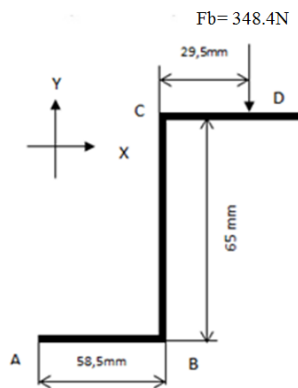


Fig.6.12 Esquema de fuerzas de la manivela.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Tramo C-D:

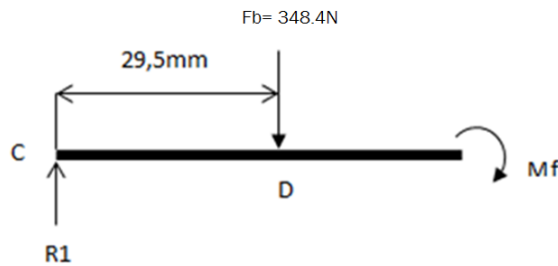


Fig. 6.13 Esquema de fuerzas tramo C-D.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Momento flector en el tramo C-D, con respecto al punto C:

$$M_f = F_B * d \quad (6.56)$$

$$M_f = 348.2 \text{ N} * 0.0295 \text{ m}$$

$$M_f = 10.3 \text{ Nm.}$$

Cálculo el esfuerzo máximo en flexión:

$$\sigma_F = \sigma_x = \frac{M_f}{Z} \quad (6.57)$$

$$Z = \frac{\pi * D^3}{32} \quad (6.58)$$

$$\sigma_F = \sigma_x = \frac{10.3 \text{ Nm} * 32}{\pi * (0.014 \text{ m})^3}$$

$$\sigma_F = \sigma_x = 38.2 \text{ MPa.}$$

Dónde:

σ_F = Esfuerzo de flexión (N/m^2).

M_F = Momento flector (Nm).

z = Módulo de sección.

D = Diámetro (m).

Aplicando la Teoría del Esfuerzo Normal Máximo, se calcula los esfuerzos principales:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \quad (6.59)$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{38.2 \text{ MPa}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{38.2 \text{ MPa}}{2}\right)^2}$$

$$\sigma_{1,2} = 19.1 \pm 19.1$$

$$\sigma_1 = 38.2 \text{ Mpa.}$$

$$\sigma_2 = 0.0 \text{ Mpa.}$$

Esfuerzo cortante máximo:

$$\tau_{1,2} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \quad (6.60)$$

$$\tau_1 = 19.1 \text{ MPa.}$$

$$\tau_2 = -19.1 \text{ MPa.}$$

Factor de seguridad (η) con el que está trabajando el elemento:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_1} \quad (6.61)$$

$$\eta = \frac{248 \text{ Mpa}}{38.2 \text{ Mpa}}$$

$$\eta = 6.5$$

Dónde:

η = Factor de seguridad.

S_y = Limite de fluencia (248MPa).

σ_1 = Esfuerzo normal máximo (MPa).

Mediante el factor de seguridad obtenido, el elemento está sobredimensionado pero nos garantiza rigidez y estabilidad para trabajar correctamente.

Tramo B-C

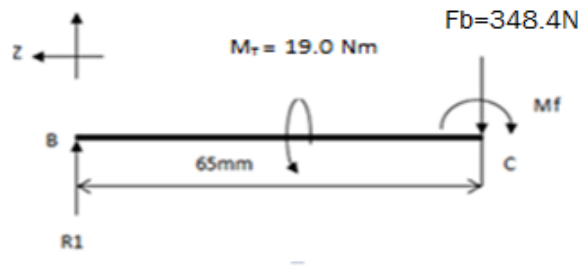


Fig. 6.14 Esquema de fuerzas tramo B-C.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Cálculo del momento flector en el tramo B-C, con respecto al punto B. (6.56)

$$M_F = 348.4 \text{ N} * 0.065\text{m.}$$

$$M_F = 22.6 \text{ Nm.}$$

Esfuerzo máximo en flexión. (6.58) para el cálculo de la sección rectangular existen algunas variantes:

$$Z = \frac{I}{c} \tag{6.62}$$

Dónde:

z = Módulo de sección.

σ_F = Esfuerzo de flexión (N/m^2).

M_F = Momento flector (Nm).

D = Diámetro (m).

I = Momento de inercia (m^4).

c = Distancia al eje neutro (m).

Momento de inercia para una sección rectangular:

$$I = \frac{b * h^3}{12} \tag{6.63}$$

Dónde:

I = Momento de inercia (m^4).

b = Base del rectángulo (m).

h = Altura del rectángulo (m).

Remplazando en la ecuación (6.57):

$$\sigma_F = \sigma_x = \frac{M_F * c * 12}{b * (h)^3}$$

$$\sigma_F = \sigma_x = \frac{45.2 * 0.03m * 12}{0.009 m * (0.06 m)^3}$$

$$\sigma_F = \sigma_x = 8.4 MPa.$$

Esfuerzo de torsión, w y t no se pueden intercambiar porque t debe ser la dimensión más corta.

$$\tau_{XY} = \frac{M_T}{w*t^2} \left(3 + \frac{1.8}{\frac{w}{t}} \right) \quad (6.64)$$

$$\tau_{XY} = \frac{10.3Nm}{0.06 m * (0.009)^2} * \left(3 + \frac{1.8}{0.06/0.009m} \right)$$

$$\tau_{XY} = 6.9 MPa.$$

Dónde:

τ_{XY} = Esfuerzo por torsión (N/m^2).
 w = Ancho (m).
 t = Espesor (m).

Teoría del esfuerzo Normal Máximo, por lo tanto se necesita el cálculo de los esfuerzos principales, (6.59).

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{XY})^2}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{8.4MPa}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{8.4 MPa}{2}\right)^2 + (6.9 MPa)^2}$$

$$\sigma_{1,2} = 3,05MPa \pm 5,87 MPa$$

$$\sigma_1 = 12.2 MPa.$$

$$\sigma_2 = -3.9 MPa.$$

Esfuerzo cortante máximo, (6.60):

$$\tau_{1,2} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{XY})^2}$$

$$\tau_1 = 9.1 MPa.$$

$$\tau_1 = -9.1 MPa.$$

Factor de seguridad (η) tramo B-C.

- Acero ASTM A36 (anexo 9)

- Límite de fluencia (S_y) = 250 Mpa.
- Resistencia a la tracción (S_{ut}) = 410 Mpa.

Para determinar el factor de seguridad se aplica la ecuación (6.61):

$$\eta = \frac{250 \text{ Mpa}}{8.4 \text{ Mpa}}$$

$$\eta = 29.6$$

Mediante el factor de seguridad obtenido el elemento está sobredimensionado pero por estética, estabilidad, rigidez es apto para trabajar correctamente.

Tramo A-B

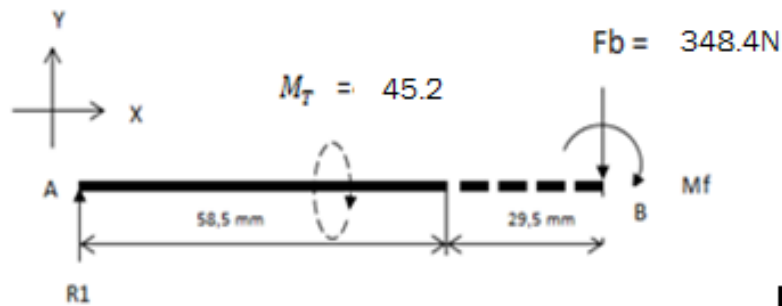


Fig.6.15 Esquema de fuerzas tramo A-B.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Momento flector en el tramo A-B, con respecto al punto A (6.56):

$$M_F = 348.4 \text{ N} * 0.088 \text{ m}$$

$$M_F = 30.7 \text{ Nm.}$$

Esfuerzo máximo en flexión (6.57):

$$\sigma_F = \frac{M_F}{Z}$$

$$\sigma_F = \sigma_x = \frac{30.7 \text{ Nm} * 32}{\pi * (0.05 \text{ m} - 0.039 \text{ m})^3}$$

$$\sigma_F = \sigma_x = 234.9 \text{ MPa.}$$

Esfuerzo de torsión máximo:

$$\tau_{max} = \frac{M_T * r}{J} \tag{6.65}$$

$$\tau_{max} = \frac{M_T * 16}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_{max} = \frac{22.6 \text{ Nm} * 16}{\pi * (0.05 \text{ m} - 0.039 \text{ m})^3}$$

$$\sigma_{max} = 86.5 \text{ MPa}.$$

Dónde:

τ_{max} = Esfuerzo máximo de torsión (MPa).

M_T = Momento torsor, calculado (Nm).

r = Radio del elemento (m).

J = Momento polar de inercia (m⁴).

d = Diámetro del elemento (m).

Teoría del esfuerzo Normal Máximo, por lo tanto se necesita el cálculo de los esfuerzos principales (6.59).

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_X + \sigma_Y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_X - \sigma_Y}{2}\right)^2 + (\tau_{XY})^2}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{234.9 \text{ Mpa}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{234.9 \text{ MPa}}{2}\right)^2 + (86.5 \text{ Mpa})^2}$$

$$\sigma_{1,2} = 117.5 \text{ MPa} \pm 145.9 \text{ MPa}.$$

$$\sigma_1 = 263.4 \text{ MPa}.$$

$$\sigma_2 = -28.4 \text{ MPa}.$$

Esfuerzo cortante máximo (6.60):

$$\tau_{1,2} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_X - \sigma_Y}{2}\right)^2 + (\tau_{XY})^2}$$

$$\tau_1 = 145.9 \text{ MPa}.$$

$$\tau_2 = -145.9 \text{ MPa}.$$

Factor de seguridad η (6.61):

Material AISI 1010

$S_y = 300 \text{ Mpa}$

$S_{ut} = 370 \text{ Mpa}$

$$\eta = \frac{300 \text{ Mpa}}{263.4 \text{ Mpa}}$$

$$\eta = 1.2$$

Mediante el factor de seguridad obtenido, el elemento está diseñado para trabajar correctamente, este segmento se encuentra montado sobre el eje.

6.6.6 Cavitación.

Ecuación de la altura de funcionamiento en un punto donde no existe cavitación la altura de aspiración ha 1 debe respetar el criterio siguiente³²:

$$ha1 < 10 - \frac{V_e^2}{2g} - J_{HA} \quad (6.66)$$

$$ha < 9.5 \text{ m.}$$

Dónde:

ha = Altura de aspiración (m).

J_{HA} = Perdidas de carga total en la sección de aspiración (0.46 m).

V_e = Velocidad de entrada del fluido (0.37 m/s).

g = Gravedad (m/s^2).

Se debe conservar esta altura de aspiración $ha < 9.5$ m para evitar la cavitación, si sobrepasa esta altura de aspiración se sobrecarga el sistema.

6.6.7 Golpe de ariete.

En el análisis previo de la máquina se estableció que no existe golpe de ariete debido a que las velocidades alcanzadas dentro de la tubería son relativamente bajas como para alcanzar sobrepresiones y depresiones y los tramos de tubería son cortos, además se utilizan válvulas de pie que son dispositivos recomendados para reducir el golpe de ariete, otra de las características es que “para que exista golpe de ariete debe existir una pendiente hidráulica en succión de al menos 50° lo cual implica un aumento de velocidad en el fluido y un cierre de válvulas rápido³³.

La fuerza necesaria para el óptimo funcionamiento del sistema hidráulico es menor a la fuerza entregada por el rotor que es de $F_{m\acute{a}x} = 348.4$ N. por lo cual el dimensionamiento de los elementos y el diámetro del rotor es el correcto.

³² André Lallemand, Arthur Gauvain, Estudio y concepción de una turbina eólica de bombeo

³³ www.ingenieriarural.com/área/ing. Rural/golpedeariete.

6.6.8 Dimensionamiento mecánico del eje del rotor.

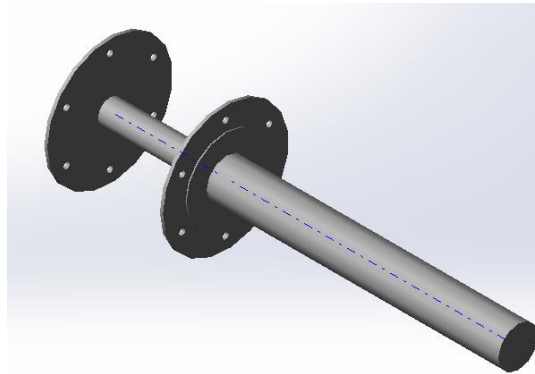


Fig.6.16 Eje del rotor.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

- Balance de las fuerzas exteriores.

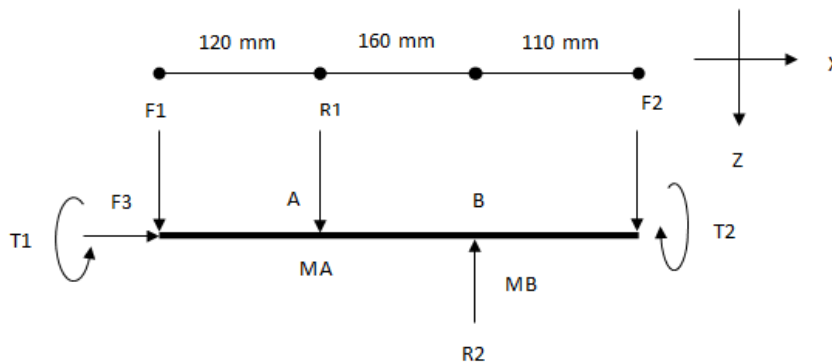


Fig.6.17 Esquema de las fuerzas ejercidas sobre el eje del rotor.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Estimación de fuerzas aplicadas en el eje.

Peso propio del eje estimado en $2 \text{ kg} \approx 19.62 \text{ N}$.

F1: Peso del rotor.- Conociendo la densidad del acero que es $7800 \text{ kg}/\text{m}^3$, se tiene una masa total aproximada de los elementos que conforman el rotor de 49.36 kg , tomando en cuenta los elementos de acople, es decir, pernos y tuercas de sujeción de palas, abrazaderas; sumados dichos elementos se hace un acercamiento de $m_T = 53 \text{ kg}$. Lo que da un peso de:

$$F1 = 53 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$F1 = 520 \text{ N}.$$

F2: Fuerza de bombeo del agua: Con par entregado por el rotor hacia el eje de:

$$T_2 = T_1 = 13.0 \text{ Nm.}$$

Se tiene una fuerza entregada para el bombeo de:

$$F_2 = 348.4 \text{ N.}$$

La fuerza F2 se considera fluctuante para el dimensionamiento de los elementos.

$$F_2 = 348.4 \text{ N. en un momento de la tracción.}$$

$$F_2 = 0 \text{ en el momento de la compresión.}$$

F3: Fuerza de arrastre de las palas de la Aerobomba: La fuerza de arrastre de las palas debe ser el mínimo, porque significa que la fuerza del viento se transforma al máximo en el momento del empuje. Para este estudio se ha basado en los datos de las palas de una eólica JOBER para un diámetro de rotor de 2.5 m. el coeficiente de arrastre es de $C_D = 0.03$ con el coeficiente de seguridad de 5.

$$C_D' = 0.15$$

Fuerza axial en el rotor:

Con $V_{\text{máx del viento}} = 15.1 \text{ m/s.}$

$$F_3 = C_p' * \frac{1}{2} * \rho_{\text{aire}} * V^2 * S \quad (6.67)$$

$$F_3 = 84.31 \text{ N.}$$

Dónde:

$C_p' = \text{Coeficiente de arrastre } 0.15.$

$\rho_{\text{aire}} = \text{Densidad del aire } \rho = 0.899 \text{ kg/m}^3.$

$S = \text{Área de barrido der rotor } (A = 4.93 \text{ m}).$

La fuerza (F3) es de compresión y no es significativa debido a que no afecta en el cálculo, de tal manera que para el cálculo del eje no se tomará en cuenta. Sin embargo será considerada para determinar los rodamientos.

Diagrama de cortantes y momentos en el eje.

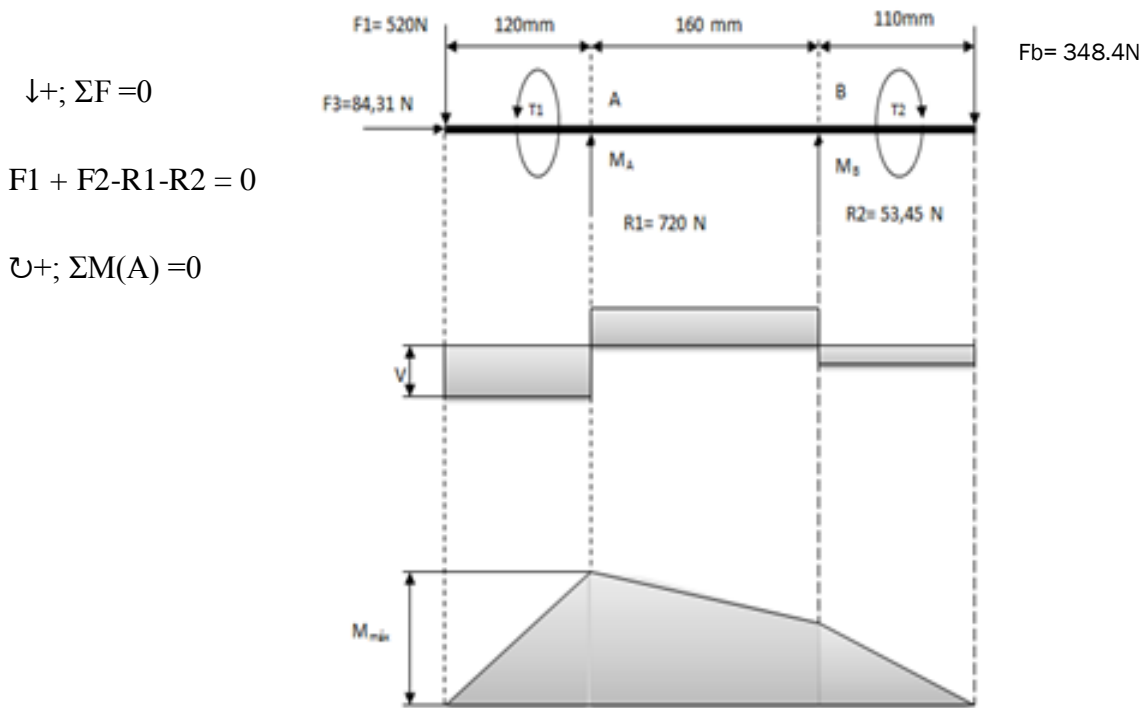


Fig.6.18 Diagrama de momentos flectores en el eje.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Despejando la fuerza de reacción en los rodamientos, de la ecuación (6.48).

$$- 520 \text{ N} * 120 \text{ mm} - R_2 * 160 \text{ mm} + 348.4 \text{ N} * 280 \text{ mm} = 0 \quad (6.68)$$

$$R_2 = \frac{348.4 \text{ N} * 280 \text{ mm} - 520 \text{ N} * 120 \text{ mm}}{160 \text{ mm}}$$

$$R_2 = 219.7 \text{ N.}$$

$$R_1 = 648.5 \text{ N.}$$

Momento:

$$M(A) = 520 * 0.12 = 62.4 \text{ Nm.}$$

$$M(B) = 348.4 * 0.11 = 38.3 \text{ Nm.}$$

Para dimensionar un eje en rotación, es necesario proceder según las siguientes comprobaciones:

- ✓ Resistencia.
- ✓ Fatiga.

Cálculo por resistencia.

Existe dentro del código ASME una fórmula para determinar el diámetro de un eje basado en la Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo.

Diámetro del eje:

$$d^3 = \frac{16}{\pi * \tau_{adm} * (1 + K^4)} * \sqrt{\left[K_f * M_f + \frac{\alpha * d * F_a}{8} (1 + K^2) \right]^2 + (k_t * T)^2} \quad (6.69)$$

Dónde:

K_f = Factor de concentración de esfuerzos en fatiga.

k_t = Factor de concentración de esfuerzos teórico.

k = Eje sólido (0), al ser hueco $k = d/D$.

M_f = Momento flector; $M_f = 62.4 \text{ Nm}$.

T = Momento torsor; $T = 13 \text{ Nm}$.

F_a = Carga axial $F = 84.31 \text{ N}$ (F3).

τ_{adm} = Esfuerzo cortante admisible.

d = Diámetro estimado del eje 25.4 mm .

Tabla 6.4 Tipo de cargas y valores de k_f y k_t aplicadas.

	Tipo de carga	k_f	k_t
Eje estacionario	Gradual	1	1
	Brusca	1.5 - 2	1.5 - 2
Eje giratorio	Gradual	1.5	1
	Constante	1.5	1
	brusca	1.5 - 2	1 - 1.5
	Choque ligero	1.5 - 2	1 - 1.5
	choque	2 - 3	1.5 - 1

Fuente: Proyecto Arthur Gauvain.

El eje está en movimiento giratorio y las cargas son consideradas graduales en flexión y pueden ser bruscas en torsión. Dónde:

$$k_f = 1.5$$

$$k_t = 1.5$$

$\alpha = 1$, para las cargas en tracción.

$$\alpha = \begin{cases} \frac{1}{1 - 0.004 * (\frac{l}{\rho})} & \frac{l}{\rho} \leq 115 \\ \frac{S_y * (\frac{l}{\rho})}{\pi^2 * n * E} & \frac{l}{\rho} > 115 \end{cases} \quad (6.70)$$

Dónde:

I = Momento de inercia del eje circular.

S_y = Resistencia a la fluencia.

E = Módulo de elasticidad.

l = Longitud del eje.

Radio de giro:

$$\rho = \sqrt{\frac{I}{A}} = k \quad (6.71)$$

$$\rho = \sqrt{\frac{(\pi * d^4)/64}{(\pi * d^2)/4}} = 1.5 \text{mm.}$$

Reemplazando $\frac{l}{\rho}$ de la ecuación (6.71) se obtiene:

$$\frac{l}{\rho} = 26 \leq 115$$

Entonces se reemplaza en (6.70):

$$\alpha = 1$$

El diámetro del eje es $d = 0.0254$ m. y la fuerza axial calculada $F_a = F_3$ es de 84.31 N.

Despejando y reemplazando valores en la ecuación (6.69):

$$\tau_{adm} = 54.2 \text{ MPa.}$$

Esfuerzo cortante admisible:

Sin chaveta:

$$\tau_{adm} = \begin{cases} 0,3 * S_y \\ 0,18 * S_u \end{cases}$$

Con chaveta:

$$\tau_{adm} = \begin{cases} 0.3 * 0.75 * S_y \\ 0.18 * 0.75 * S_u \end{cases} \quad (6.72)$$

Características del acero AISI 1010.

$$S_y = 300 \text{ MPa} ; S_y = 36 \text{ ksi.}$$

$$S_{ut} = 370 \text{ MPa.}$$

$$E_{\text{para aceros}} = 207 \text{ GPa.}^{34}$$

El menor valor del esfuerzo cortante admisible es escogido en cada uno de los casos por seguridad, debido a que el riesgo de falla tiende a ser menor.

Remplazando en (6.72) se obtiene el esfuerzo cortante admisible, para el material seleccionado:

$$\tau_{adm} = 67.5 \text{ MPa.}$$

El diámetro calculado del eje es de 0.0254 m. que satisface el esfuerzo cortante admisible para el material seleccionado.

Diseño a fatiga.

Con un acero AISI 1010 donde las características son dadas por el fabricante.

Como en cualquier tipo de eje sometido a flexión y torsión actuarán esfuerzos por flexión invertida debido a la rotación de la flecha.

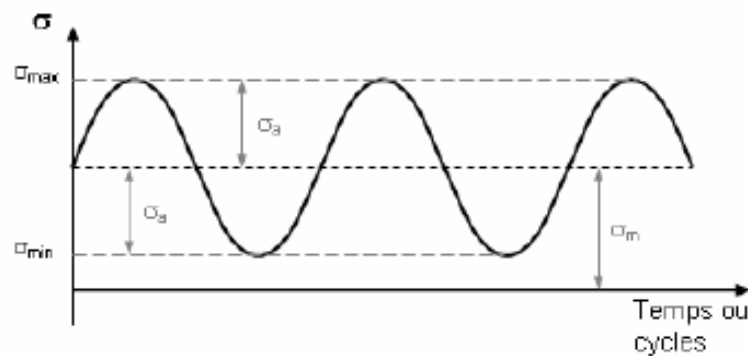


Fig.6.19 Esquema de un esfuerzo fluctuante.

Fuente: Proyecto Arthur Gauvain.

Esfuerzo por flexión y esfuerzo cortante por torsión:

$$\sigma_x = \frac{MC}{I} + \frac{F}{A} \quad \text{o} \quad \sigma_x = \frac{32 * M_f}{\pi * d^3} + \frac{4 * F_a}{\pi * d^2} \quad (6.73)$$

³⁴ Robert L. Mott, diseño de elementos de maquinas

$$\tau_{xy} = \frac{16 * T}{\pi * d^3} \quad (6.74)$$

Dónde:

σ_x = Esfuerzo de flexión (Pa).

τ_{xy} = Esfuerzo a torsión (Pa).

M_f = Momento flector (Nm).

T = Momento torsor (Nm).

I = Momento de inercia de la sección transversal respecto a su eje neutral.

C = Distancia del eje neutral a la fibra más exterior de la sección transversal del eje.

Los límites son:

$$\sigma_x = \frac{32 * M_{fmax}}{\pi * d^3} + \frac{4 * F_a}{\pi * d^2} = 205.1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = 102.6 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_m = 102.6 \text{ MPa.}$$

Límites de esfuerzos cortantes:

$$\tau_{max} = \frac{16 * T_{max}}{\pi * d^3} = 4.04 \text{ MPa.}$$

$$\tau_a = 2.02 \text{ Nm.}$$

$$\tau_m = 2.02 \text{ Nm.}$$

Calculando los esfuerzos combinados:

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2} \quad (6.75)$$

$$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2} \quad (6.73)$$

$$\sigma'_a = 102.5 \text{ MPa.}$$

$$\sigma'_m = 102.5 \text{ MPa.}$$

Dónde:

σ'_a = Amplitud del esfuerzo (Pa).

σ'_m = Esfuerzo medio (Pa).

Límite de resistencia a la fatiga de un elemento mecánico.

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * S_e' \quad (6.76)$$

Dónde:

S_e = Límite de resistencia a la fatiga de un elemento de maquina.

S_e' = Límite de resistencia a la fatiga de un eje rotativo.

k_a = Factor de superficie .

k_b = Factor de tamaño o forma .

k_c = Factor de carga .

k_d = Factor de temperatura .

k_e = Factor de modificación por concentración de esfuerzos.

Límite de resistencia a la fatiga de un eje rotativo (S_e').

$$S_e' = \begin{cases} 0,504 * S_{ut} & S_{ut} \leq 1400(\text{Mpa}) (200\text{kpsi}) \\ 700(\text{MPa}) (100\text{kpsi}) & S_{ut} > 1400(\text{Mpa}) (200\text{kpsi}) \end{cases} \quad (6.77)$$

En este caso se escoge:

$$S_e' = 0.504 * S_{ut}$$

Remplazando valores en la ecuación:

$$S_e' = 186.5 \text{ MPa.}$$

- **Ka:** Factor de superficie:

$$K_a = a * S_{ut}^b \quad (\text{anexo 10}) \quad (6.78)$$

$$K_a = 0.94$$

- **Kb:** Factor de forma o tamaño:

Para secciones circulares se tiene:

$$k_b = \begin{cases} 0.869 * d^{-0.097} & 0.3 \text{ pulgadas} < d \leq 10 \text{ pulgadas.} \\ 1 & d \leq 0.3 \text{ pulgadas o bien } \leq 8 \text{ mm.} \\ 1.189 * d^{-0.097} & 8 \text{ mm} < d \leq 250 \text{ mm.} \end{cases} \quad (6.79)$$

Remplazando valores en la ecuación con $d = 25.4 \text{ mm}$ se obtiene:

$$K_b = 0.869 * 1^{-0.097}$$

$$K_b = 0.869$$

- **Kc:** Factor de carga:

$$k_c = \begin{cases} 0.923 & \text{carga axial } S_{ut} \leq 1520 \text{ (MPa) (220 kpsi)} \\ 1 & \text{carga axial } S_{ut} > 1520 \text{ (MPa) (220 kpsi)} \\ 1 & \text{Flexión} \\ 0.577 & \text{Torsión o esfuerzo cortante.} \end{cases}$$

El eje está sometido a esfuerzo torsor y flector:

$$K_c = 0.577 \quad (6.80)$$

- **Kd:** Factor de temperatura:

$$k_d = \begin{cases} 1 & T \leq 450^\circ\text{C} \quad (840^\circ\text{F}) \\ 1 - 5.8 (10)^{-3} (T - 450) & 450^\circ\text{C} < T \leq 550^\circ\text{C} \\ 1 - 3.2 (10)^{-3} (T - 840) & 840^\circ\text{F} < T \leq 1020^\circ\text{F} \end{cases} \quad (6.81)$$

Se escoge: $K_d = 1$

- **Ke:** Factor de modificación por concentración del esfuerzo:

$$K_e = \frac{1}{k_f} \quad (6.82)$$

- Factor de efectos diversos:

$$K_f = 1 + q * (k_t - 1) \quad (6.83)$$

Dónde:

k_f = Factor de concentración de esfuerzos en fatiga.

k_t = Factor de concentración de esfuerzos teórico.

q = Sensibilidad a las ranuras o muescas.

Coefficientes de una geometría del eje:

$$r_{\text{ranura}} = 0.5 \text{ mm.}$$

$$\frac{D}{d} = \frac{40 \text{ mm}}{39 \text{ mm}} = 1.03$$

$$\frac{r_{\text{ranura}}}{d} = 0.013$$

Dónde:

D = Diámetro mayor del eje.

d = Diámetro menor del eje.

$$q = 0.57 \quad (\text{Anexo 16})$$

$$K_t = 1.41 \quad (\text{Anexo17})$$

Remplazando valores en (6.83):

$$K_f = 1.23$$

Remplazando valores en (6.82):

$$K_e = 0.813$$

Remplazando valores en (6.76):

$$S_e = 71.5 \text{ MPa.}$$

Ecuación para determinar la resistencia del eje a una vida infinita ($N > 10^7$ revoluciones).

$$\left(\frac{\sigma'_a}{s_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma'_m}{s_y}\right)^2 = \frac{1}{n^2} \quad (6.84)$$

$$n = 2.6$$

El eje de 25.4 mm. de diámetro en acero ASTM A36 satisface todos los requerimientos que exige el proyecto. El eje tiene un cambio de sección de 1.0 mm. en el diámetro, para el ajuste en los rodamientos.

6.6.9 Selección de rodamientos.

A continuación se presenta la selección de los rodamientos sobre los cuales se asienta el eje del rotor.

Carga radial.- Los rodamientos que soportan principalmente cargas radiales, se llaman

rodamientos radiales y soportan mayores cargas radiales que los rodamientos de bolas de igual tamaño³⁵. Tienen un ángulo de contacto nominal $\alpha_0 \leq 45^\circ$.

Carga axial.- Los rodamientos que soportan cargas axiales se llaman rodamientos axiales, tienen un ángulo de contacto nominal $\alpha_0 > 45^\circ$.

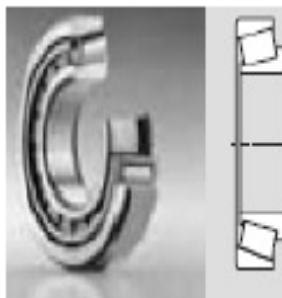
Determinación del tipo de rodamientos.

Los rodamientos de bolas (Anexo13) soportar cargas medias radiales y cargas axiales, los rodamientos de rodillos soportar cargas muy pesadas y son autoaliniabiles, tienen alta capacidad para soportar cargas radiales, cargas axiales y cargas combinadas.

Rodamiento de rodillo cónico.

El rodamiento de rodillos cónicos, es adecuado para resistir cargas radiales y axiales simultáneas.

Tabla 6.15 Características del rodamiento de rodillos cónico elegido para el eje del rotor, de diámetro de 40 mm del eje.



Denominación abreviada		Capacidad de carga		Factores de carga		
Rodamiento	DIN ISO	Dinámica	Estática	Y	Yo	e
FAG	355	C	Co			
32008 XA	3CD040	54 KN	71 KN	1.58	0.87	0.38

Fuente: Catalogo de rodamientos FAG.

- Las fuerzas radiales ejercidas en el eje son:

$$R1 = 219.7 \text{ N.}$$

$$R2 = 648.5 \text{ N.}$$

$$Fr = 868.2 \text{ N.}$$

- Una fuerza axial.

$$Fa = F3 = 84.31 \text{ N.}$$

³⁵ Catálogo de rodamientos FAG.pg 9

Pasos para su adecuada selección del rodamiento de rodillo cónico:

- Se determina la vida nominal del rodamiento en horas de servicio según el tipo de máquina³⁶ (anexo 14) al que se aplique, el cual se tiene.

$$L_{10h} = 6000 \text{ h.}$$

- La carga dinámica equivalente:

$$\begin{aligned}
 P &= F_r && \text{si } \frac{F_a}{F_r} \leq e \\
 P &= 0,4 * F_r + Y * F_a && \text{si } \frac{F_a}{F_r} > e \quad (6.85)
 \end{aligned}$$

Dónde:

P = Carga dinámica equivalente del rodamiento (N).

F_r = Fuerza radial (N).

F_a = Fuerza axial (N).

Y, Y_0, e = Coeficientes (están en función del rodamiento (anexo 15)).

Remplazando valores en (6.85):

$$\frac{F_a}{F_r} = 0.097 < e$$

Por lo tanto:

$$P = 0.868 \text{ KN} \ll C$$

- Carga estática equivalente.

$$\begin{aligned}
 P &= 0.5 * F_r + Y_0 * F_a && \text{si } \frac{F_a}{F_r} \geq \frac{1}{2*Y_0} \\
 P_0 &= F_r && \text{si } \frac{F_a}{F_r} \leq \frac{1}{2*Y_0} \quad (6.86)
 \end{aligned}$$

Remplazando:

$$Y_0 = 0.87$$

$$\frac{F_a}{F_r} = (0.097) < \frac{1}{2*Y_0} = 0.57$$

Por lo tanto:

³⁶ Diseño de elemento de máquinas 2° edición, MOTT, pg. 615

$$P_o = 0.868 \text{ KN} \ll C_o$$

Las cargas equivalentes P_o y P se comparan con las cargas admisibles C y C_o que vienen dadas en el catálogo, el rodamiento elegido cumple con los requerimientos exigidos, para soportar las cargas dinámicas ejercidas sobre el eje.

6.6.10 Chaveta.

La chaveta permite la transmisión de movimiento rotativo y está expuesta a un esfuerzo cortante y también esfuerzos de compresión.

Medidas de la chaveta para el diseño del eje:

$$L = 0,04 \text{ m}$$

$$W = 0,009 \text{ m}$$

$$H = 0,01 \text{ m}$$

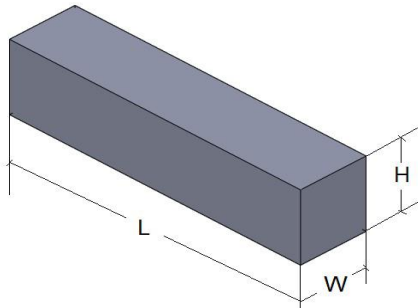


Fig.6.20 Geometría de la chaveta.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

El torque $M = 13 \text{ Nm}$. Del eje de diámetro de $d = 0.039$ la fuerza es de:

$$C = F * d/2 = 13 \text{ (Nm)} \quad (6.87)$$

$$F = \frac{c*2}{d}$$

$$F = 666.67 \text{ N.}$$

Dónde:

$C =$ Par o torque requerido para el bombeo (Nm).

$F =$ Fuerza aplicada (N).

$d =$ Diámetro del eje (m).

Esfuerzo cortante en la chaveta, es necesario para un dimensionamiento válido (acero ASTM A36).

$$\frac{F}{L*W} < \frac{S_y}{2*n} \quad (6.88)$$

$$\frac{F}{L * W} = \frac{666,67 \text{ N}}{0.04 \text{ m} * 0.009 \text{ m}} = 1.9 \text{ MPa}$$

$$\frac{S_y}{2 * n} = \frac{250}{10} = 25 \text{ MPa}$$

$$\frac{F}{L * W} < \frac{S_y}{2 * n}$$

$$1.9 \text{ MPa.} < 25 \text{ MPa.}$$

Dónde:

L = Longitud de la chaveta (m).

W = Espesor de la chaveta (m).

F = Fuerza calculada.

n = Factor de seguridad 5.³⁷

Dimensionamiento adecuado para Compresión en la chaveta:

$$\frac{F}{L * \frac{H}{2}} < \frac{S_y}{n} \tag{6.89}$$

Dónde:

ASTM A36

$S_y = 250 \text{ MPa}$

$S_{ut} = 400 \text{ MPa}$

$n = 5$

H = Altura de la chaveta (m).

$$\frac{F}{L * \frac{H}{2}} = \frac{666.67 \text{ N}}{5 * 10^{-3} * 0.04 \text{ m}} = 3.33 \text{ MPa.}$$

$$\frac{S_y}{n} = \frac{250}{5} = 50 \text{ MPa.}$$

$$\frac{F}{L * \frac{H}{2}} < \frac{S_y}{n}$$

$$3.33 \text{ MPa.} < 50 \text{ MPa.}$$

³⁷ Proyecto_ arthur_gauvain,pg. 57

6.6.11 Tornamesa.

Elemento que permite al rotor colocarse siempre frente al viento, debe resistir una fuerza de compresión y un momento flector del rotor y de la veleta.

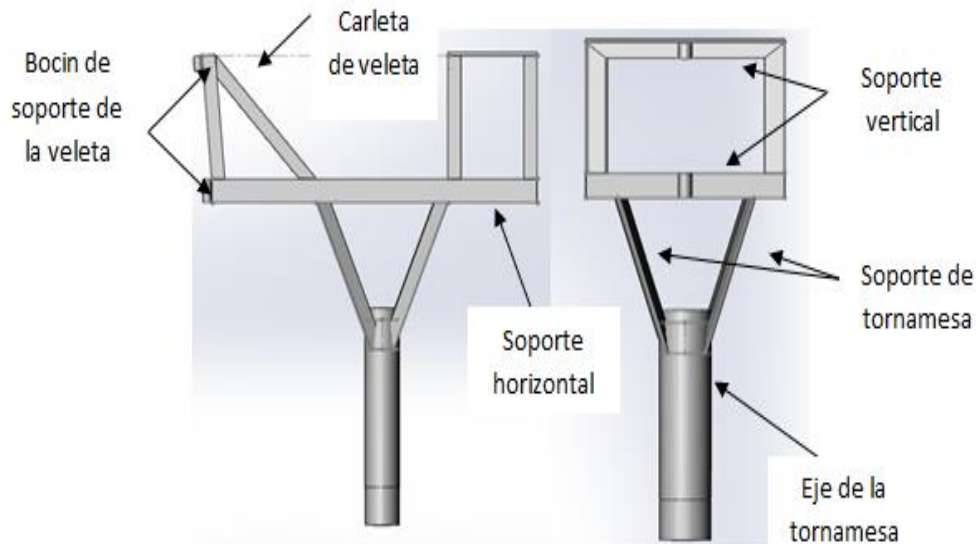


Fig. 6.21 Esquema de la tornamesa.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Diseño del soporte horizontal.

Elemento más crítico de la estructura que debe soportar las siguientes cargas:

Bombeo:

$F_b = 348.4 \text{ N}$.

Fuerzas aplicadas al eje:

$F_1 = 476.3 \text{ N}$.

$F_2 = 476.3 \text{ N}$.

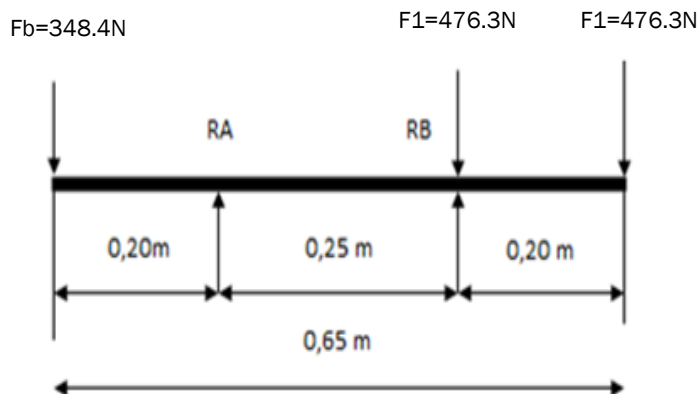


Fig. 6.22 Diagrama de cuerpo libre de la viga de la tornamesa.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Diagrama de cortantes y momentos en la viga:

$$\downarrow +; \Sigma F_{\text{ext}} = 0$$

$$F_1 + F_2 + F_b - R_A - R_B = 0$$

$$\curvearrow +; \Sigma M (A) = 0$$

$$-F_b * 0.20 \text{ m} + F_2 * 0.25 \text{ m} - R_B * 0.25 \text{ m} + F_1 * 0.45 \text{ m} = 0$$

$$R_B = \frac{(-348.4 \text{ N} * 0.20 \text{ m}) + (476.3 \text{ N} * 0.25 \text{ m}) + (476.3 \text{ N} * 0.45 \text{ m})}{0.25 \text{ m}}$$

$$R_B = 1056.5 \text{ N.}$$

$$R_A = 244.2 \text{ N.}$$

Momento:

$$M = F * d$$

$$M(A) = 348.4 \text{ N} * 0.20 \text{ m.}$$

$$M(A) = 69.7 \text{ Nm.}$$

$$M(B) = 476.3 \text{ N} * 0.20 \text{ m.}$$

$$M(A) = 95.3 \text{ Nm}$$

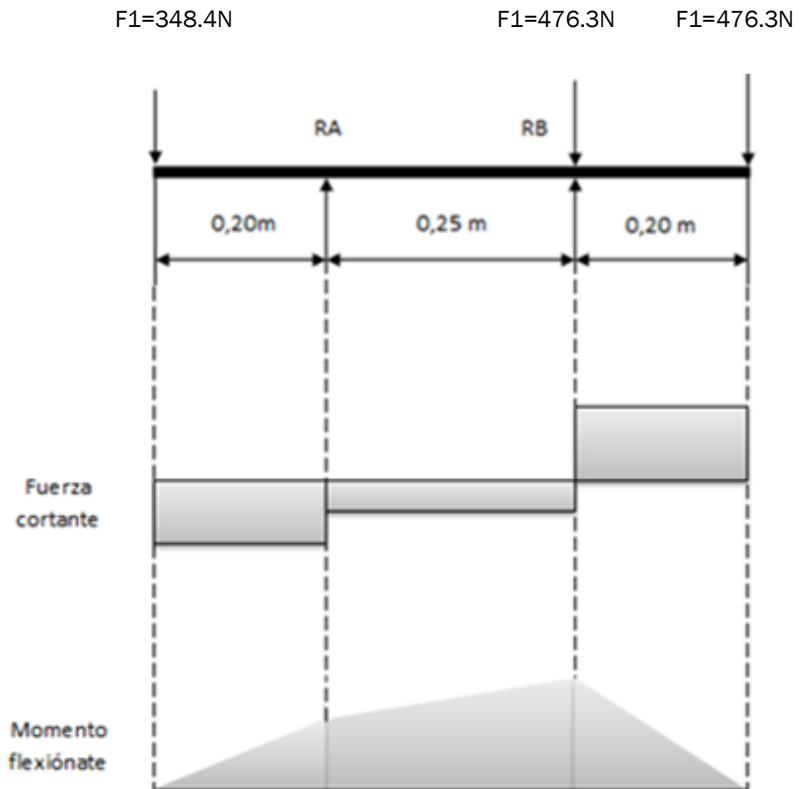


Fig.6.23 Diagrama de cortantes y momentos en la viga.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Cargas de la viga.³⁸

Estimación de Cargas vivas W_{CV} .

✓ Acción presión del viento: $(0.00445)(v^2)$ (f)

Velocidad 6.28 m/s.

³⁸ ASD, Diseño de estructuras metálicas ,4° edición

$$\text{Acción}_{\text{viento}} = (0.00445) (21.96 \text{ km/h})^2 (1.3) \quad f = 1.3$$

$$\text{Acción}_{\text{viento}} = 2.79 \text{ kg} / \text{m}^2.$$

✓ Carga o fuerza del viento.

$$\text{Acción}_{\text{viento}} = (2.79 \text{ kg/m}^2) (0.25 \text{ m}) (0.65 \text{ m})$$

$$\text{Acción}_{\text{viento}} = 0.45 \text{ kg}.$$

$$\text{Total } W_{cv} = 4.4 \text{ N}.$$

Estimación de Cargas muertas W_{CV} .

✓ Carga o fuerza del rotor.

$$F = 1300.7 \text{ N}.$$

✓ Masa de las vigas.

$$m_{\text{viga}} = (A) * (L) * (\rho)$$

$$m_{\text{viga}} = (0.000421 \text{ m}^2 * 2) * (0.65 \text{ m}) * (7800 \text{ kg/m}^3)$$

$$m_{\text{viga}} = 4.27 \text{ kg}.$$

$$m_{\text{viga}} = 41.9 \text{ N}.$$

$$\text{Total } W_{CM} = 1342.6 \text{ N}.$$

✓ Total de cargas vivas.

$$W = 1347 \text{ N}.$$

Carga distribuida:

$$W = \frac{w}{L} \quad (6.90)$$

$$W = \frac{1347 \text{ N}}{0.65 \text{ m}}$$

$$W = 2072.7 \text{ N/m}.$$

Momento máximo de la viga, tomando en consideración la carga total:

$$M_{max} = \frac{W * t^2}{8} \quad (6.91)$$

$$M_{max} = \frac{(2072.7 \frac{\text{N}}{\text{m}})(0.65 \text{ m})^2}{8}$$

$$M_{max} = 109.5 \text{ Nm.}$$

Módulo de la sección requerida:

$$f_b \leq F_b \quad (6.92)$$

Esfuerzo permisible básico.

$$F_b = 0.6 F_y \quad (6.93)$$

$$F_b = (0.6) * (250 \text{ MPa})$$

$$F_b = 150 * 10^6 \text{ Pa.}$$

Módulo resistente de la sección.

$$S_x = \frac{M_{max}}{F_b} \quad (6.94)$$

$$S_x = \frac{109.5 \text{ Nm}}{150 * 10^6 \text{ Pa}}$$

$$S_x = 7.3 * 10^{-7} \text{ m}^3.$$

Esfuerzo permisible o flexión.

$$f_b = \frac{M_{máx}}{S_x} \quad (6.95)$$

$$f_b = \frac{109.5 \text{ Nm}}{7.3 * 10^{-7} \text{ m}^3}$$

$$f_b = 150 * 10^6 \text{ Pa}$$

$$f_b = F_b$$

El esfuerzo permisible básico es igual al esfuerzo permisible a flexión, de esta manera se cumple la condición.

Basándose en el cálculo realizado $S_x = 7.3 * 10^{-7} \text{ m}^3$, indica que el perfil estructural de acero ASTM A36 "L" 40 * 40 * 6. Es el adecuado para diseñar la viga.

Propiedades del perfil " L" 40 * 40 * 6 (anexo16)³⁹:

³⁹ IPAC, perfiles estructurales ,ángulos

$$A = 0.000421 \text{ m}^2.$$

$$r_x = r_y = 0.012 \text{ m.}$$

$$r_z = 0.0069 \text{ m.}$$

$$I = 6.07 * 10^{-8} \text{ m}^4.$$

$$P_{SECCION} = 3.30 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}.$$

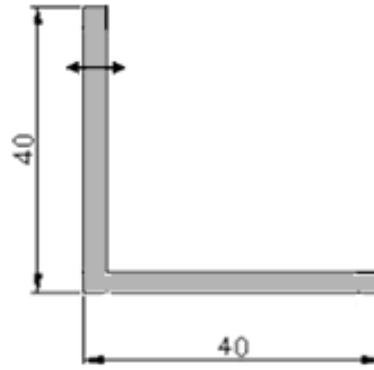


Fig.6.24 Esquema del Perfil "L" 40 * 40 * 6 mm.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Flecha máxima.

$$f = \frac{(5)(W)(L)^4}{(384)(E)(I)} \quad (6.96)$$

$$f = \frac{(5)(1347 \text{ N/m})(0.65)^4}{(384)(207 * 10^9 \text{ N/m}^2)(6.07 * 10^{-8} \text{ m}^4)}$$

$$f = 2.5 * 10^{-4} \text{ m}$$

$$\frac{L}{360} = \frac{0.65 \text{ m}}{360} = 1.8 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$f \leq \frac{L}{360}$$

$$2.5 * 10^{-4} \text{ m.} \leq 1.81 * 10^{-3} \text{ m.}$$

La condición se cumple la flecha máxima no sobrepasa a la flecha máxima calculada.

6.6.11.1 Soporte vertical o columna armada.

La tornamesa está constituida por dos secciones soldadas de las mismas dimensiones por esta razón el cálculo realizado será para ambas.

$F = 1300.7 \text{ N}$	$L = 0.25 \text{ m}$	$H = 0.25 \text{ m}$	$k = 0.65^{40}$
------------------------	----------------------	----------------------	-----------------

⁴⁰ ACESCO, Manual de diseño de perfiles estructurales en acero de lámina delgada, pg, 49

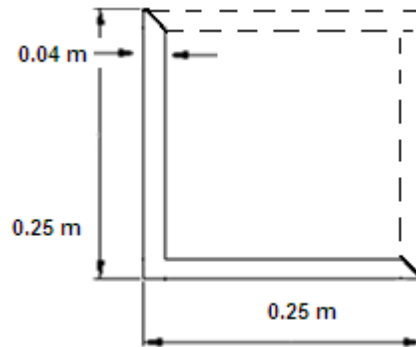


Fig. 6.25 Esquema de los soportes verticales soldados de la tornamesa.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Área total de la sección compuesta soldada.

$$\begin{aligned}
 A_{total} &= A_{seccion} * 2 & (6.97) \\
 A_{total} &= (0.000421m^2) * (2) \\
 A_{total} &= 8.42 * 10^{-4} m^2.
 \end{aligned}$$

Inercia total de la sección compuesta soldada.

$$\begin{aligned}
 I_{total} &= I_{SECCION} * 2 & (6.98) \\
 I_{total} &= (6.07 * 10^{-8} m^4) * (2) \\
 I_{total} &= 1.214 * 10^{-7} m^4.
 \end{aligned}$$

Radio de giro de la sección compuesta.

$$\begin{aligned}
 r_{giro} &= \sqrt{\frac{I_{total}}{A_{total}}} & (6.99) \\
 r_{giro} &= \sqrt{\frac{1.214 * 10^{-7} m^4}{8.42 * 10^{-4} m^2}} \\
 r_{giro} &= 0.012 m.
 \end{aligned}$$

Masa total de la sección compuesta soldada.

$$\begin{aligned}
 m_{total} &= m_{seccion} * L & (6.100) \\
 m_{total} &= \left(3.30 \frac{kg}{m} * 2\right) * 0.25 m \\
 m_{total} &= 1.65 kg.
 \end{aligned}$$

Relación de esbeltez.

$$\frac{KL}{r} = \frac{(K)(L)}{r} \quad (6.101)$$

Donde:

K = Constante que depende de la fijación de los extremos (Anexo17).

L = Longitud de la columna (m).

r = Radio .

Remplazando valores en (6.101):

$$\frac{KL}{r} = \frac{(0.65)(0.25 \text{ m})}{0.012}$$

$$\frac{KL}{r} = 13.54$$

Esfuerzo permisible

$$F_a = \text{con } \frac{KL}{r} = 13.54 = 14 \text{ (Anexo 18)} \quad (6.102)$$

Remplazando valores en la ecuación:

$$F_a < S_y$$

$$20.95 \text{ Kpsi} < 36 \text{ Kpsi}$$

$$F_a \cong 14.7 * 10^6 \text{ kg/m}^2.$$

Carga permisible ò tolerable.

$$P_a = F_a * A \quad (6.103)$$

$$P_a = 14.7 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 8.42 * 10^{-4} \text{m}^2$$

$$P_a = 12377.4 \text{ kg}.$$

$$P_a = 121422 \text{ N}.$$

$$P_a > P$$

$$P_a = 121422 \text{ N} > P (F = 1300.7 \text{ N})$$

Dónde:

P_a = Carga tolerable o permisible (N).

A = Area (m^2) .

P = Carga real aplicada (N).

La carga permisible calculada es mucho mayor a la carga aplicada en el elemento es decir satisface las exigencias de la estructura.

Carga critica que origina el pandeo. ⁴¹

$$P_{er} = n * Pa \quad (6.104)$$

$$P_{er} = (2.0)(121422 N)$$

$P_{cri} = 242844 N$; Carga a la cual la columna empieza a pandearse

Dónde:

$P_{cri} =$ Carga critica que origina pandeo (N).

$n =$ Factor de seguridad.

$n^{42} = 2.0$ para columnas con cargas conocidas.

6.6.11.2 Soporte vertical o columna armada.

Se construirá con perfil $L 40 * 40 * 6 mm$, por lo tanto las propiedades ya están citadas.

$$F = 1300.7 N.$$

$$H = 0.25 m.$$

$$L = 0.25 m.$$

$$K = 0.65$$

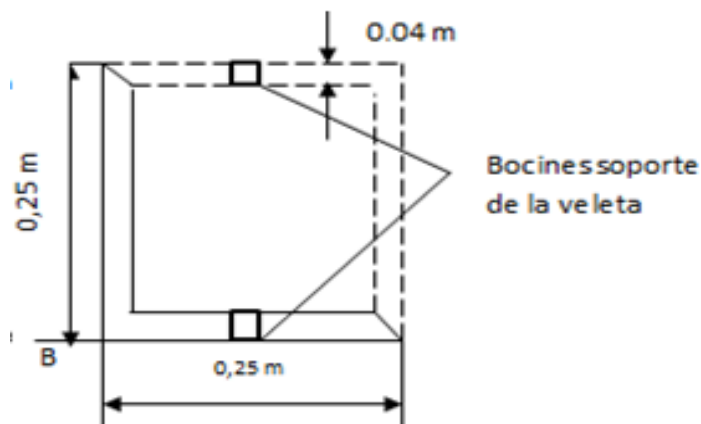


Fig. 6.26 Esquema de los soportes verticales soldados.

Fuente: El Egdo. Daniel Guananga.

Remplazando valores en (6.100):

$$M_{total} = P_{SECCION} * L$$

$$M_{total} = 1.65 kg.$$

⁴¹ MOTT Robert, diseño de elementos mecánicos, 2° edición pg. 183

⁴² MOTT Robert, diseño de elementos mecánicos, 2° edición pg. 183

El momento máximo M_{\max} que se presenta es:

$$M_{\max} = l * F_b \quad (6.105)$$

$$M_{\max} = 0.25 \text{ m.} * 348.4 \text{ N.}$$

$$M_{\max} = 87.1 \text{ Nm.}$$

El límite máximo de esfuerzo al que está sometido el perfil es:

$$\sigma_{\max} = \frac{L * M_{\max}}{I} \quad (6.106)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{0.25 \text{ m} * 87.1 \text{ Nm}}{1.214 * 10^{-7} \text{ m}^4} = 179.4 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_{\max} = 179.4 * 10^6 \text{ N/m}^2.$$

Remplazando valores en (6.101) se obtiene la relación de esbeltez:

$$\frac{K * L}{r} = \frac{(0,65)(0,25 \text{ m})}{0,012}$$

$$\frac{K * L}{r} = 13.5 \text{ m.}$$

Remplazando valores en (6.102) se obtiene el esfuerzo permisible:

$$F_a < S_y$$

$$F_a = 20.95 \text{ Ksi} < 36 \text{ Ksi}$$

$$F_a = 20.95 \text{ Ksi} \cong 14.7 * 10^6 \text{ kg/m}^2.$$

Remplazando valores en (6.103) se obtiene la carga permisible ò tolerable:

$$P_a = F_a * A$$

$$P_a = 14.7 * 10^6 \text{ kg/m}^2 * 8.42 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$P_a = 121422 \text{ N.}$$

$$P_a > P (1300.7 \text{ N})$$

La carga permisible calculada es mucho mayor a la carga aplicada en el elemento es decir, satisface las exigencias de la estructura.

Remplazando valores en (6.104) se obtiene la carga crítica que origina el pandeo:

$$P_{er} = N * P_a$$

$P_{er} = 242844 \text{ N}$; Carga a la cual la columna empieza a pandearse

6.6.11.3 Cartela o platina para veleta.

La tornamesa está constituida por platinas inclinadas soldadas que soportan la carga de la veleta de 348.4 N.

$$F = 348.4 \text{ N.}$$

$$H = 0.25 \text{ m.}$$

$$L = 0.314 \text{ m.}$$

$$k = 0.65$$

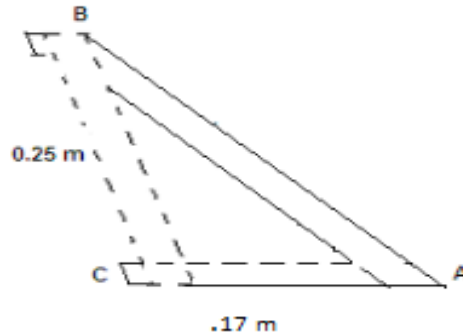


Fig. 6.27 Esquema de la platina.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Longitud de la platina.

$$C = \sqrt{(a^2) + (b^2)} \quad (6.107)$$

$$C = \sqrt{(0.25 \text{ m})^2 + (0.19 \text{ m})^2}$$

$$C = 0.314 \text{ m.}$$

Remplazando valores en (6.101) se obtiene la relación de esbeltez:

$$\frac{K * L}{r_z} = \frac{(0.65 \text{ m}) * (0.314 \text{ m})}{0.0069}$$

$$\frac{K * L}{r_z} = 29.6$$

Remplazando valores en (6.102) se obtiene el esfuerzo permisible:

$$F_a = 19.94 \text{ ksi} < 36 \text{ ksi}$$

$$F_a = 19.94 \text{ ksi} \cong 20.8 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^2.$$

Remplazando valores en (6.103) se obtiene la carga permisible ò tolerable:

$$Pa = F_a * A$$

$$Pa = 20.8 * 10^6 \text{ kg/m}^2 * 8.42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Pa = 171812 \text{ N.}$$

$$Pa > P$$

$$Pa = 171812 \text{ N} > P(348.4 \text{ N})$$

La carga permisible calculada es mucho mayor a la carga aplicada en el elemento, por la cual satisface las exigencias de la estructura.

6.6.11.4 Eje de Tornamesa.

El eje de la tornamesa, permite el ensamble de la Aerobomba (rotor, tornamesa y veleta) debe resistir una fuerza de compresión y un momento flector.

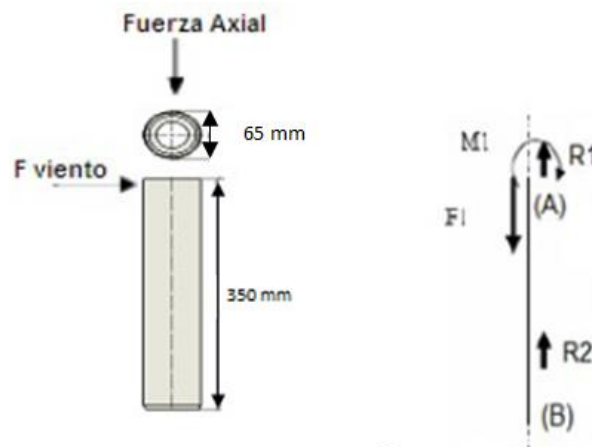


Fig. 6.28 Esquema de fuerzas ejercidas sobre el eje de la tornamesa.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

La fuerza de compresión:

$$F = 1300.7 \text{ N.}$$

Masa del eje hueco de la tornamesa.

$$m_{eje} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)(L)(\rho_{acero}) \quad (6.108)$$

$$m_{eje} = \frac{\pi}{4} (0.065^2 - 0.035^2) (0.35 \text{ m})(7800 \text{ kg/m}^3)$$

$$m_{eje} = 6.2 \text{ kg.}$$

Inercia del eje de la tornamesa:

$$I_{eje} = \frac{\pi*(D^4 - d^4)}{64} \quad (6.109)$$

$$I_{eje} = \frac{\pi * (0.065^4 - 0.035^4)}{64}$$

$$I_{eje} = 4.0 * 10^{-8} m^4$$

Radio del eje de la tornamesa:

$$r_{eje} = \sqrt{\frac{(D^2 + d^2)}{4}} \quad (6.110)$$

$$r_{eje} = \sqrt{\frac{(0.063^2 m + 0.035^2 m)}{4}}$$

$$r_{eje} = 0.05 m.$$

Momento flector:

$$M_x = F * D$$

$$M_x = 520 N * 0.350 m$$

$$M_x = 182 Nm.$$

$$M_y = F * D$$

$$M_y = 348.4 N * 2 m$$

$$M_y = 696.8 Nm.$$

$$M_f = \sqrt{(M_x^2 + M_y^2)}$$

$$M_f = \sqrt{(182 Nm)^2 + (696.8 Nm)^2}$$

$$M_f = 720.2 Nm.$$

Momento Torsor:

$$M_t = \frac{F * \text{diametro del eje}}{2} \quad (6.111)$$

$$M_t = \frac{84.3 N * 0.065 m}{2}$$

$$M_t = 2.74 Nm.$$

Esfuerzo torsionante del eje de tornamesa:

$$\sigma_t = \frac{M_f * r}{I} \quad (6.112)$$

$$\sigma_t = \frac{720.2 \text{ Nm} * 0.05 \text{ m}}{4.0 * 10^{-7} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_t = 90 \text{ MPa.}$$

Diseño por resistencia a la fatiga del eje de tornamesa.

Se diseñara el eje hueco de acero ASTM A36:

$H = 0.350 \text{ m}$	$D = 0,065 \text{ m}$	$d = 0,035 \text{ m}$	$F = 1300.7 \text{ N}$
-----------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------

Remplazando valores en (6.73) el esfuerzo de flexión:

$$\sigma_x = \frac{32 * M_{fmax}}{\pi * d^3} + \frac{4 * F_a}{\pi * d^2} \quad M_{fmax} = 62.4 \text{ Nm}$$

$$\sigma_{max} = \frac{32 * 62.4 \text{ Nm}}{\pi * (0.065 \text{ m} - 0.035 \text{ m})^3} + \frac{4 * 1300.7 \text{ N}}{\pi * (0.065 \text{ m} - 0.035 \text{ m})^2}$$

$$\sigma_{max} = 42.5 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_{min} = \frac{32 * M_{fmin}}{\pi * d^3} = 0 \text{ MPa.} \quad M_{fmin} = 0 \text{ Nm.}$$

Remplazando valores en (6.74) el esfuerzo de torsión:

$$\tau_{xy} = \frac{16 * T}{\pi * d^3} \quad \tau_{max} = 13 \text{ Nm.}$$

$$\tau_{max} = \frac{16 * 13 \text{ Nm}}{\pi * (0.065 \text{ m} - 0.035 \text{ m})^3}$$

$$\tau_{max} = 2.5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{min} = \frac{16 * T_{min}}{\pi * d^3} = 0 \text{ MPa.} \quad T_{min} = 0 \text{ Nm.}$$

Remplazando valores en (6.75) aplicando la teoría de energía de la distorsión:

$$\sigma_a = \sigma_{máx}$$

$$\sigma_a = 42.5 \text{ MPa.}$$

Remplazando valores en (6.75) del esfuerzo medio aplicando la teoría de energía de la distorsión:

$$\sigma_m = 3\tau_{m\acute{a}x}$$

$$\sigma_m = 3 (2.5 \text{ MPa})$$

$$\sigma_m = 7.5 \text{ MPa.}$$

Para reemplazar los valores en (6.76) del límite de resistencia a la fatiga de un elemento mecánico:

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * S_e'$$

Reemplazando valores en (6.77):

$$S_e' = 0.504 * S_{ut}$$

$$S_e' = 0,504 * (400 \text{ MPa})$$

$$S_e' = 201.6 \text{ MPa.}$$

Ka: Factor de superficie.

$$K_a = 0.64$$

Kb: Factor de forma o tamaño.

Reemplazando valores en (6.79) con $d = 13 \text{ mm}$.

$$k_b = 1.189 * 10^{-0.097}$$

$$k_b = 0.79$$

Kc: Factor de carga.

Reemplazando en (6.80):

$$k_c = 0.577$$

Kd: Factor de temperatura.

Reemplazando valores en (6.81):

$$k_d = 1$$

Ke: Factor de modificación por concentración del esfuerzo.

Remplazando valores en (6.82):

$$k_e = \frac{1}{k_f} = 0.36$$

Remplazando valores en (6.83), de factor de efectos diversos:

$$k_f = 1 + q * (k_t - 1)$$
$$k_f = 1 + 0.78 * (2.55 - 1)$$
$$k_f = 2.76$$

Coeficientes de una geometría del eje.

$$r = \sqrt{\frac{D^2 + d^2}{16}} = 0,025 \text{ m}$$

$$\frac{d}{D} = \frac{0.035 \text{ m}}{0.063 \text{ m}} = 0.54 \text{ m}$$

$$q = 0.78$$

$$k_t = 2.55$$

Remplazando valores en (6.76):

$$S_e = 21 \text{ MPa.}$$

Remplazando valores en (6.61) se obtiene un factor de seguridad de:

$$n = 2.0$$

6.6.11.5 Soldadura – conexión.

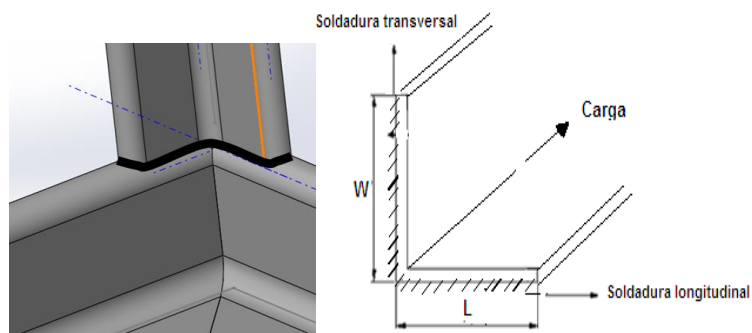


Fig. 6.29 Diagrama soldadura.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

$$F = 1300.7 \text{ N.} \quad (\text{carga a soportar})$$

$$L \geq W$$

$$40\text{mm} \geq 40 \text{ mm}$$

Carga permisible:

$$T = (0.6 * F_v) * A_g \quad (6.113)$$

Dónde:

A_g = área del perfil (m^2)

$$T = \left(0.6 * 25 * 10^6 \frac{kg}{m^2}\right) * 0,000421 \text{ m}^2$$

$$T = 6315 \text{ kg}$$

Esfuerzo al cortante:

$$F_v = 0.3 * F_t \quad (6.114)$$

$$F_t = E 6011 \quad F_t = 60000\text{Psi} = 42272811 \frac{kgf}{m^2} \quad (\text{Anexo 19})$$

$$F_v = 0.3 * F_t$$

$$F_v = 0.3 * 42272811 \frac{kgf}{m^2}$$

$$F_v = 12.6 * 10^6 \frac{kgf}{m^2}.$$

Dónde:

F_v = Esfuerzo de corte .

F_t = Resistencia a la tencion del cordon de soldadura (electrodo) ($\frac{kg}{m^2}$).

t = Filete de soldadura (m).

Área de soldadura 0.04 m

$$A = 0.707 t \quad t = \left(\frac{1}{8}\right) = 0.00318 \text{ m} \quad (\text{anexo20}) \quad (6.115)$$

$$A * F_v = 0.707 * 0.00318 \text{ m} * 0.04 \text{ m} * 12.6 * 10^6 \frac{kgf}{m^2}$$

$$A * F_v = 1140.5\text{kg}.$$

$$A * F_v = 11188.3 \text{ N}.$$

Longitud de soldadura necesaria para soportar todo el peso.

$$l = \frac{m}{A \cdot F_v} \quad (6.116)$$

Remplazando valores en la ecuación se obtiene:

$$l = \frac{1300.7 \text{ N}}{11.188 \text{ N}}$$

$$l = 0.13 \text{ m} ; l = 130 \text{ mm}$$

NOTA: Se ha calculado la soldadura de 130 mm, esta satisface la resistencia de la carga de 1300.7 N. aplicada sobre el perfil, pero por seguridad y estética se debe realizar un cordón corrido en todo el contorno del perfil.

6.6.11.6 Conjunto veleta – placa guía.

Dispositivo de orientación, propiedades del perfil "L" 25 * 25 * 3⁴³.

$$A = 1.35 * 10^{-4} \text{ m}^2.$$

$$r_x=r_y = 0.76 * 10^{-4} \text{ m}.$$

$$I = 7.9 * 10^{-9} \text{ m}^4.$$

$$P_{seccion} = 1, .06 \text{ kg/m}.$$

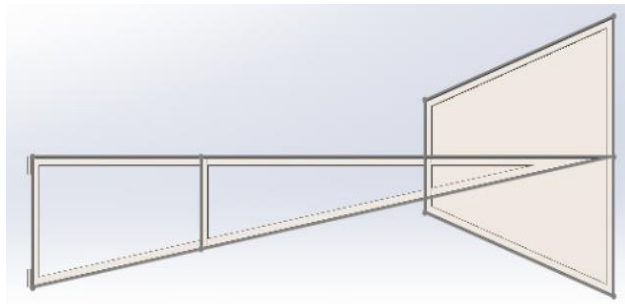


Fig. 6.30 Esquema de la veleta.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Placa guía de veleta.

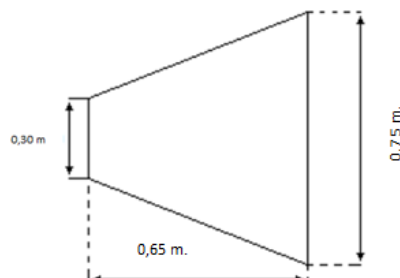


Fig. 6.31 Esquema de la placa de la veleta.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

⁴³ IPAC. Perfiles estructurales.

Área de placa guía de veleta:

$$A_{placa} = \frac{(B + b) h}{2} \quad (6.117)$$

$$A_{placa} = \frac{(0.75 \text{ m} + 0.30 \text{ m}) 0.65 \text{ m}}{2}$$

$$A_{placa} = 0.34 \text{ m}^2.$$

Volumen de placa guía de veleta:

$$V_{placa} = A_{placa} * e_{placa} \quad (6.118)$$

$$V_{placa} = 0.34 \text{ m}^2 * 0.002 \text{ m}$$

$$V_{placa} = 6.8 * 10^{-4} \text{ m}^3.$$

Peso de placa base.

$$P_{placa} = V_{placa} * \rho_{acero} \quad (6.119)$$

$$P_{placa} = 6.8 * 10^{-4} \text{ m}^3 * 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_{placa} = 52.03 \text{ N}.$$

Veleta.

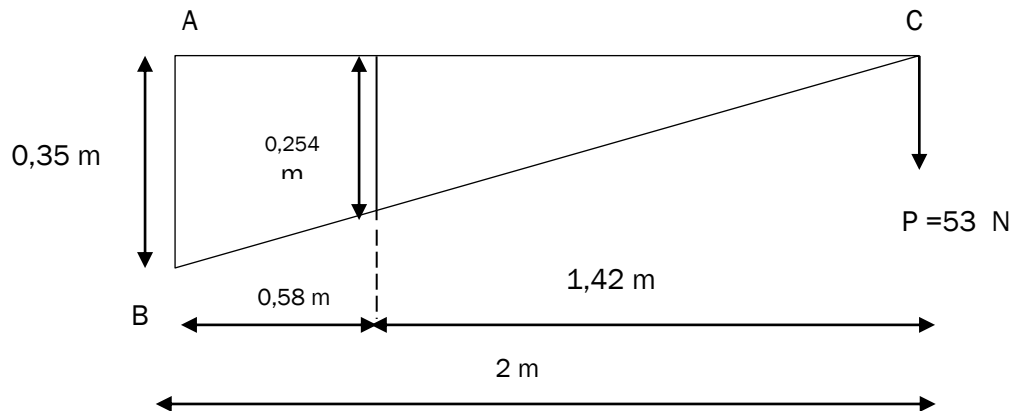


Fig. 6.32 Diagrama de cuerpo libre de la veleta.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Remplazando valores en (6.105):

$$M_f = F_{placa} * d$$

$$M_f = 53 \text{ N} * 2 \text{ m}$$

$$M_f = 106 \text{ Nm}.$$

Remplazando valores en (6.100):

$$\begin{aligned}m_{total} &= m_{SECCION} * L \\m_{total} &= \left(1.06 \frac{kg}{m}\right) * 4.7 m \\m_{total} &= 5.0 kg. \\m_{total} &= 47.8 N.\end{aligned}$$

Área de veleta:

$$\begin{aligned}A_{veleta} &= \frac{(B) h}{2} && (6.120) \\A_{veleta} &= \frac{(0.35 m) * 2 m}{2} \\A_{veleta} &= 0.35 m^2.\end{aligned}$$

Cargas que intervienen en la veleta:

- Cargas Vivas W_{cv} .

$$\text{Acción del viento} = 2.79 \text{ kg/m}^2 * 0.35 \text{ m}^2.$$

W_{cv} = acción de viento * área de veleta.

$$W_{cv} = 9.6 \text{ N}.$$

- Cargas Muertas W_{cm} .

Peso veleta + peso placa guía de veleta + accesorios = 100 N.

Total cargas:

$$\begin{aligned}W_C &= W_{cv} + W_{cm} \\W_C &= 109.6 \text{ N}.\end{aligned}$$

Remplazando valores en la ecuación (6.90) se obtiene:

$$\begin{aligned}W &= \frac{W_C}{L} \\W &= \frac{109.6 \text{ N}}{2 \text{ m}}\end{aligned}$$

$$W = 54.8 \text{ N/m.}$$

Esfuerzo permisible a tensión:

$$F_a = \frac{P_{\text{carga distribuida de veleta y placa}}}{A} \quad (6.121)$$

$$F_a = \frac{348.4 \text{ N}}{0.35 \text{ m}^2}$$

$$F_a = 995.4 \text{ Pa.}$$

Remplazando valores en (6.91) se obtiene el Momento máximo en la veleta:

$$M_{\text{máx}} = \frac{wL^2}{8}$$

$$M_{\text{máx}} = \frac{54.8 \frac{\text{N}}{\text{m}} * (2 \text{ m})^2}{8}$$

$$M_{\text{máx}} = 27.4 \text{ Nm.}$$

Remplazando valores en (6.92) Módulo de la sección requerida:

$$f_b \leq F_b$$

Remplazando valores en (6.93) Esfuerzo permisible básico:

$$F_b = 0.6 F_y$$

$$F_b = 150 * 10^6 \text{ N/m}^2.$$

Remplazando valores en (6.94) Módulo resistente de la sección.

$$S_X = \frac{M_{\text{máx}}}{F_b}$$

$$S_X = \frac{27.4 \text{ Nm}}{150 * 10^6 \text{ N/m}^2}$$

$$S_X = 1.83 * 10^{-7} \text{ m}^3.$$

Remplazando valores en (6.75) Esfuerzo permisible o flexión

$$f_b = \frac{M_{\text{máx}}}{S_X}$$

$$f_b = \frac{27.4 \text{ Nm}}{1.83 * 10^{-7} \text{ m}^3}$$

$$f_b = 150 * 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$f_b = F_b$$

Los esfuerzos son iguales de esta manera se cumple la condición. Basándose en el cálculo realizado $S_x = 1.83 * 10^{-7} \text{ m}^3$. Indica que el perfil estructural de acero ASTM A36⁴⁴ "L" 25 * 25 * 3, es adecuado para diseñar la veleta.

Fuerzas externas en la veleta:

Punto B

$$\curvearrowright +; \Sigma M_A = 0$$

$$(B * 0.35 \text{ m}) - (53 \text{ N} * 2 \text{ m}) = 0$$

$$B = \frac{53 \text{ N} * 2 \text{ m}}{0.35 \text{ m}}$$

$$B = 302.9 \text{ N.}$$

Punto A

$$A_x ; \leftarrow + \Sigma F_x = 0$$

$$A_x - B = 0$$

$$A_x = 302.9 \text{ N.}$$

$$A_y ; \uparrow + \Sigma F_y = 0$$

$$A_y = 53 \text{ N.}$$

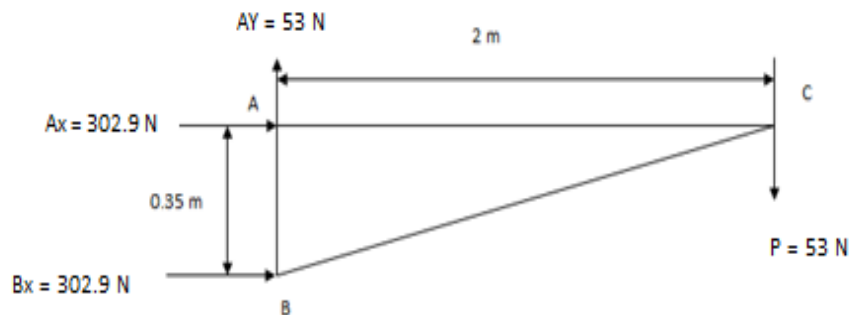


Fig. 6.33 Fuerzas que intervienen en la veleta.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

⁴⁴ IPAC, perfiles estructurales.

Comprobación de los valores obtenidos en las fuerzas, recordando que la suma de los momentos de todas las fuerzas externas con respecto a cualquier punto debe ser = 0.

Considerando en este caso el punto B.

$$\curvearrowright +\Sigma M_B = (53 \text{ N} * 2\text{m}) - (302.9 \text{ N} * 0.35 \text{ m}) = 0$$
$$\Sigma M_B = 0$$

6.7 ALMACENAMIENTO DE AGUA Y DISTRIBUCIÓN

Una parte importante de un sistema de bombeo es el almacenamiento de agua y su distribución.

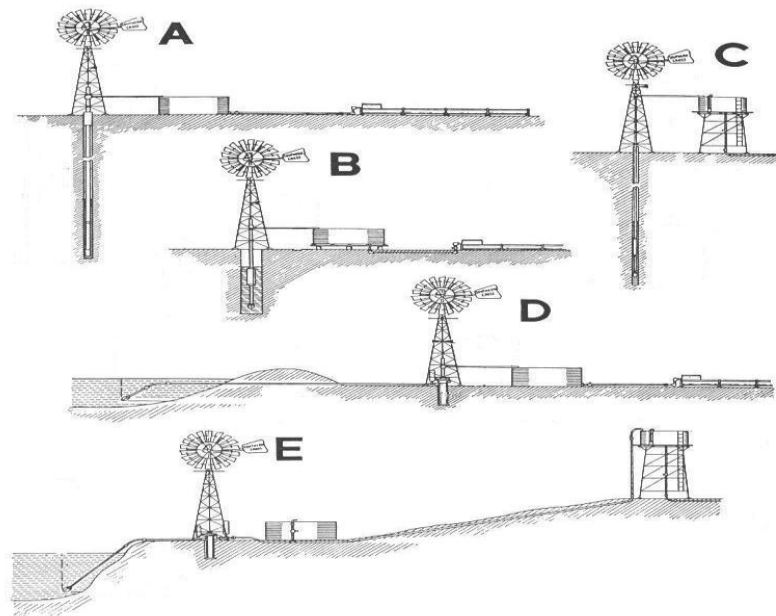


Fig. 6.34 Esquemas de almacenamiento utilizados en sistema de Aerobombeo.

Fuente: Catalogo de Southern Cross International, 1990.

Generalmente el tanque de almacenamiento regulariza el suministro de agua. La Aerobomba entrega el fluido de manera variable a lo largo del día. Igualmente el tanque permite almacenar cantidades adicionales de agua que se pueden obtener en periodos de viento de alta intensidad, compensando con aquellos periodos de calma en los cuales no hay bombeo.

En sistemas de Aerobombeo, generalmente, la dimensión volumétrica del tanque se determina para almacenar entre medio día y dos días de suministro de agua.

La selección del tipo de tanque depende de circunstancias locales y de la aplicación. Mano de obra y materiales locales definirán el costo del tanque y la manera en que este puede ser construido.

Para instalaciones donde se requiere alta presión de entrega de agua, se requerirá un tanque elevado, lo cual implica la necesidad de montar el tanque sobre una torre.

En la actualidad se consiguen en el mercado, tanques de polietileno ó tanques de concreto reforzado con acero a un costo de casi el doble. El sistema de distribución de agua, el cual depende de la aplicación impone las condiciones en las cuales el agua deba ser almacenada, sea que es un tanque elevado sobre una torre o simplemente colocado al ras de piso. Para sistemas de distribución se tendrá que cuantificar las pérdidas hidráulicas por fricción en tubería y accesorios hidráulicos como válvulas, rociadores, etc.

6.8 OBRA CIVIL

Esta obra consiste de las cimentaciones en concreto para el anclaje de la torre y del tanque de almacenamiento. Las especificaciones para esta obra generalmente vienen descritas en los manuales de instalaciones pero se debe tener cuidado porque algunas diferencias pueden existir de acuerdo al tipo de terreno y al tamaño del pozo. Especial atención se debe prestar a la alineación. La cimentación debe ser hecha de tal forma que la torre quede perfectamente vertical y, en el caso de un molino de bombeo sobre un pozo de poco diámetro, centrado alrededor de este.

Un método común para centrar la torre es el siguiente: para la ubicación de las cimentaciones es necesario armar completamente el primer tramo de la torre; con una cuerda se "trazan" las diagonales del cuadrado que forma la base de la torre.

Una vez determinado este centro, se ubica la torre sobre el pozo y si es necesario con una plomada se va alineando hasta hacer que coincidan los centros de la torre y el pozo. Se debe tener cuidado, antes de hacer las cimentaciones, verificar que los lados de la torre estén perfectamente nivelados en los cuatro costados, lo que garantizará que la torre quede vertical.

Se debe tener en cuenta además que:

La torre soportará todo el empuje del viento sobre el molino y el viento por ráfagas, dependiendo del lugar por lo que de la buena calidad y ubicación de la cimentación depende la vida del molino y su eficiencia en la extracción de agua.

De la buena ubicación de los anclajes depende que la torre quede vertical y opere eficientemente.

La profundidad de este anclaje está determinada por el tipo de cargas que recibirá la torre. En los manuales generalmente están especificadas este tipo de dimensiones, pero una recomendación inicial es que cualquier anclaje requiere de por lo menos 0.5 m. de profundidad.

6.9 ANÁLISIS DE LA TORRE ESTRUCTURAL

El diseño de la torre del generador será de suma importancia ya que la misma soportará las cargas vivas y muertas. Debido a esto se necesitara que la misma sea estable y rígida, y que además soporten todas las fuerzas y reacciones que serán producidas por todos los medios, sean estos mecánicos o físicos.

Para realizar el análisis y diseño de la estructura se necesita seguir los siguientes pasos:

- Importar un modelo geométrico.
- Definir los estados de carga y sus combinaciones.
- Definir materiales, secciones, perfiles.
- Asignar las secciones a los diferentes elementos estructurales.
- Asignar las cargas (con su valor y dirección respectivos).
- Asignar las condiciones de apoyo a los puntos o nodos.
- Seleccionar el código de diseño a aplicarse (AISC – ASCE).

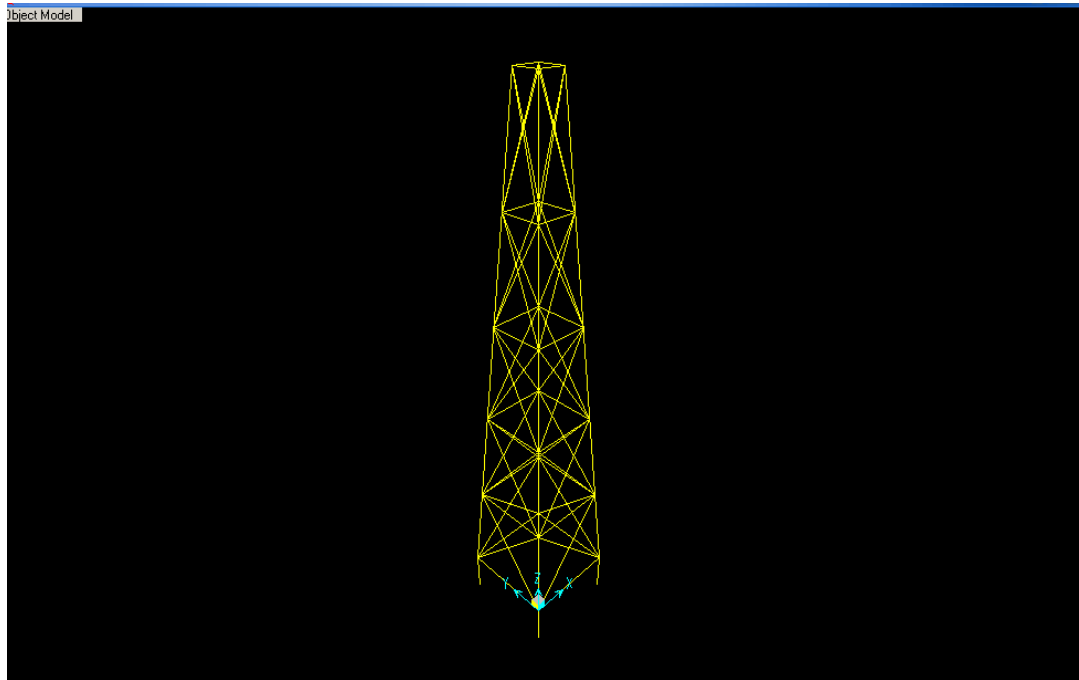


Fig. 6.35 Estructura exportada.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga

ANÁLISIS DE CARGAS

Cargas muertas.

Son aquellas que se mantienen en magnitud constante y con una posición fija durante la vida útil de la estructura; generalmente la mayor parte de las cargas muertas es el peso propio de la estructura. Es la que puede calcularse con una buena aproximación a partir de la configuración de diseño, de las dimensiones de la estructura y de la densidad del material.

Tabla 6.16 Cargas muertas que actúan sobre la torre.

Denominación	Carga
Aerogenerador	53kg
Torre	45 kg
Otros	5 kg
total	103 Kg

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

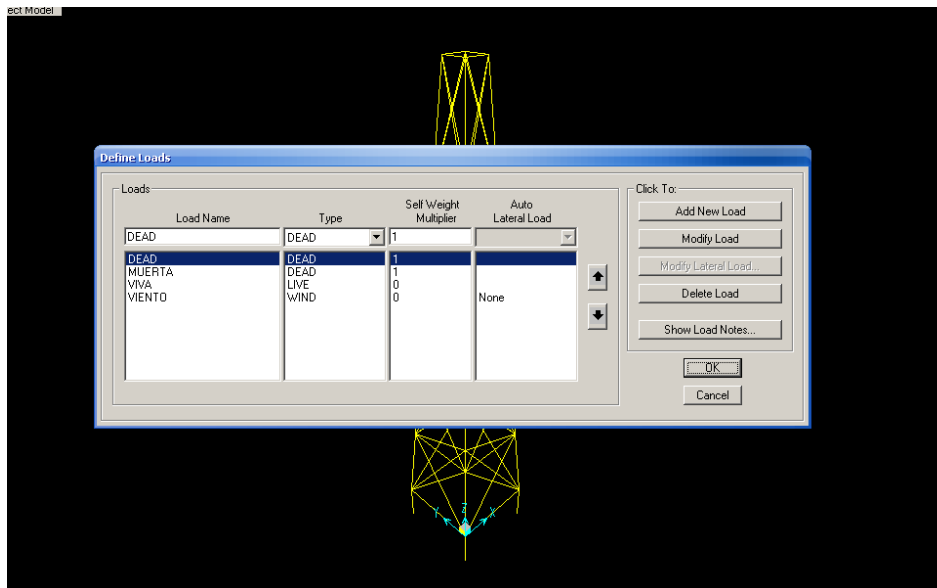


Fig.6.36 Definiendo Cargas.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Cargas vivas.

Las cargas vivas son cargas variables en magnitud y posición debidas al funcionamiento propio de la estructura, es decir que son aquellas debidas al uso u ocupación de la construcción y que la identifican.

Generalmente actúan durante períodos cortos de la vida de la estructura. También incluyen el impacto.

En la torre se incluye una carga viva que provoca el operario que colocará el convertor de energía en la cima de la misma, de la siguiente manera, en la figura se tiene una persona subida en la escalera la cual produce una carga puntual (RA) en la torre, y mediante las condiciones de equilibrio se tiene:

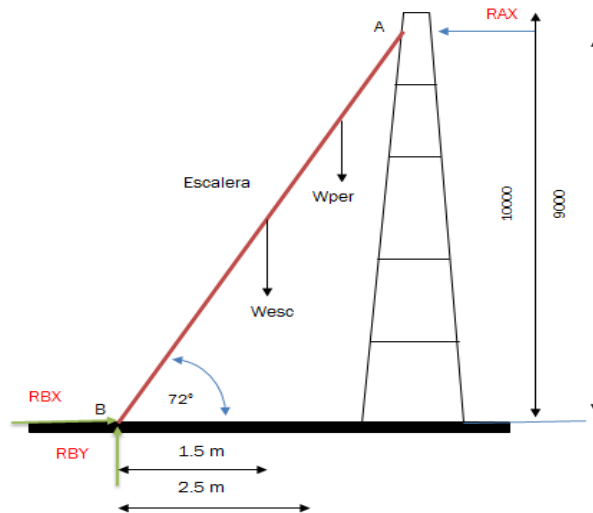


Fig. 6.37 Diagrama de equilibrio.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

$$\sum F_y = 0$$

$$RB_Y = W_{esc} + w_{per}$$

$$RB_Y = 20 \text{ kg} + 74 \text{ kg}$$

$$RB_Y = 94 \text{ kg}.$$

$$\sum F_x = 0$$

$$RB_x = RA_x$$

$$\sum MB = 0$$

$$RA_x (9000) = W_{esc} (1500) + W_{per} (2500)$$

$$RA_x = 23.87 \text{ kg} = RB_x$$

Por lo tanto se tendrá una carga viva en dirección “x” de 23.87 kg con respecto a la torre, también se dispondrá de una opción en la que el operario se subirá a la torre para el montaje mediante los cuales provocaran una carga de 74 Kg en dirección vertical “y”

Cargas de viento.

Estas cargas dependen de la ubicación de la estructura, de su altura, del área expuesta y de la posición. Las cargas del viento se manifiestan como presiones y succiones.

Dicha carga ya fue calculada anteriormente para el análisis de la tornamesa, Conjunto veleta – placa guía, la misma que es igual a:

$$W_{cm} = 83 \text{ kg/ m.}$$

Al realizar un análisis iterativo en el programa, por la complejidad de la estructura y la cantidad de elementos que está constituida, se está garantizando la obtención de mejores resultados para el diseño.

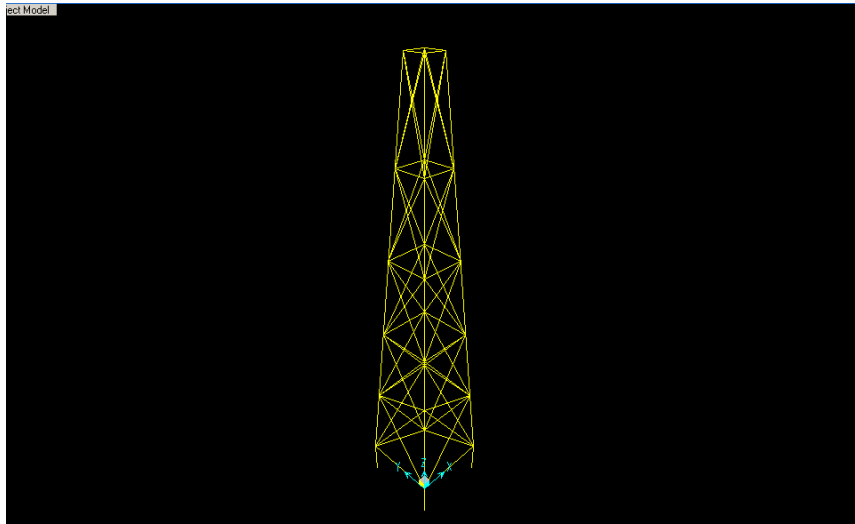


Fig. 6.38 Estructura a ser analizada

Fuente: Egdo. Daniel Guananga

Los materiales utilizados para el análisis estructural, en el programa son: Acero estructural ASTM A-36 L 40x40x 6.

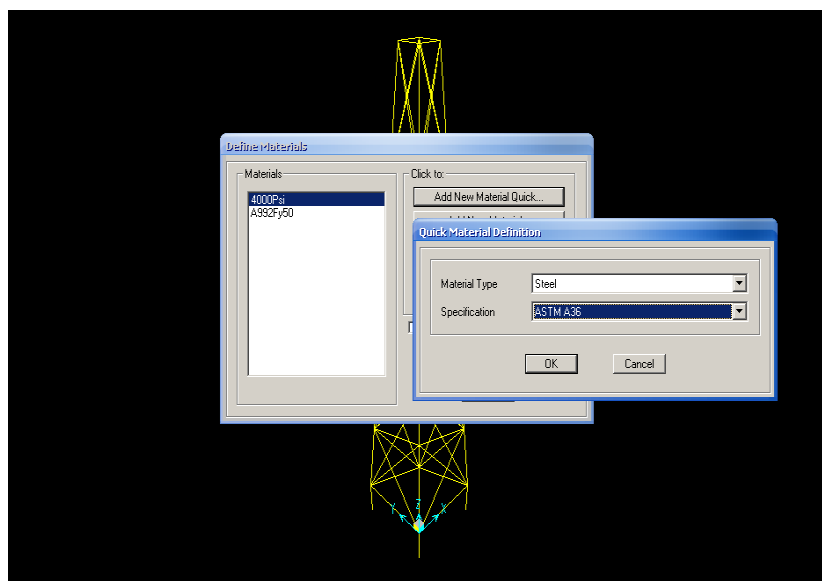


Fig. 6.39 Definición del tipo de material.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Posteriormente se señala toda la estructura para dar el perfil adecuado que en este caso se seleccionó un ángulo de L 40x40x6 disponible en el mercado.

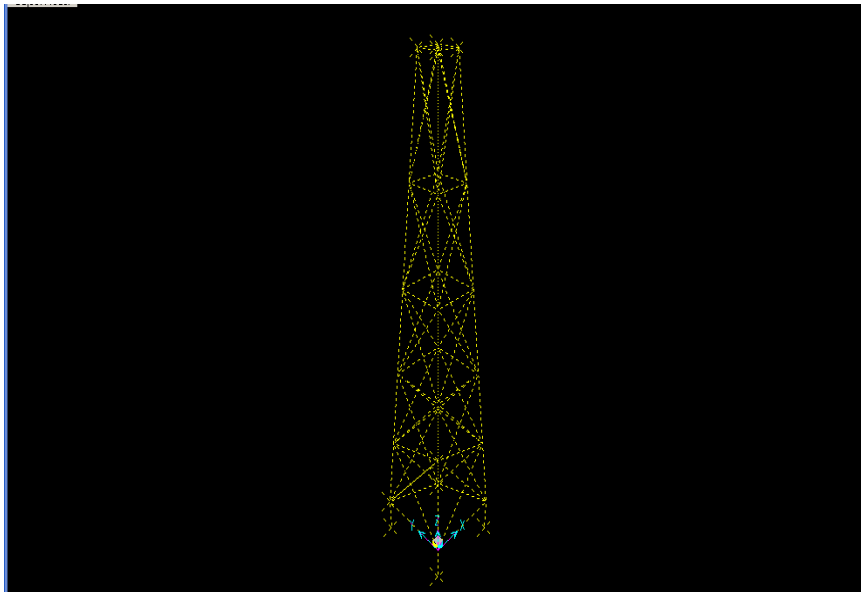


Fig. 6.40 Colocación del perfil estructural.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Verificación por código de colores:

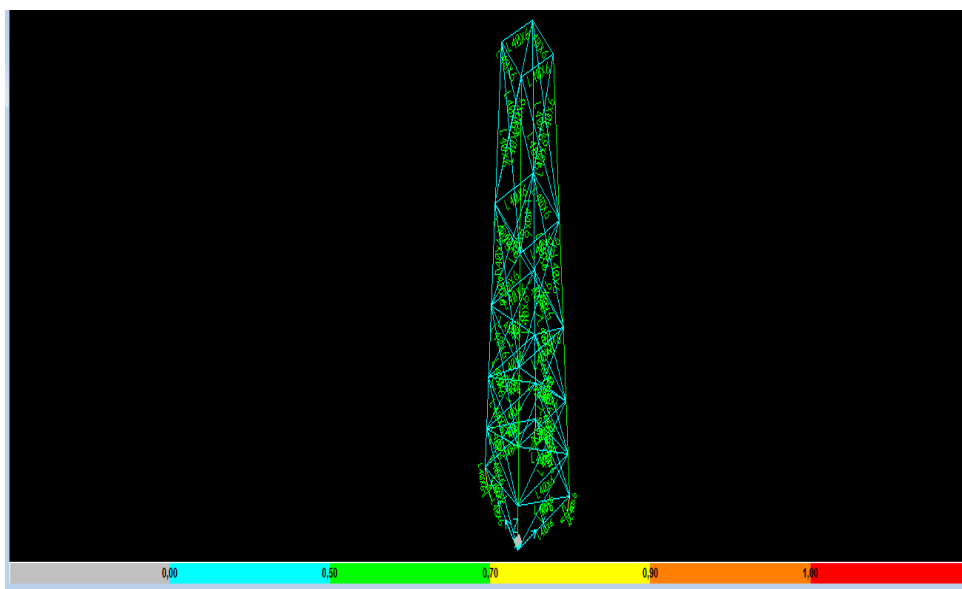


Fig.6.41 Análisis de la estructura.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

El programa tiene una ventaja muy grande que nos permite visualizar con gran facilidad que barra o elemento está fallando. Mediante el código de colores se puede apreciar que

la estructura si resiste aunque esta está sobredimensionada, ya que lo normal sería que este en el rango de colores verde y amarillo, pero se justifica por la razón de que las cargas de mayor valor son axiales y las de menor valor son las cargas del viento y el peso de la escalera son radiales las que producen que los nudos de la estructura se flexionen.

La barra de colores indica la relación de esfuerzos, esta relación no debe ser mayor o igual a uno. El valor máximo aceptable es de 0.95. Analizando la gráfica podemos observar que no tenemos perfil que presentan fallas.

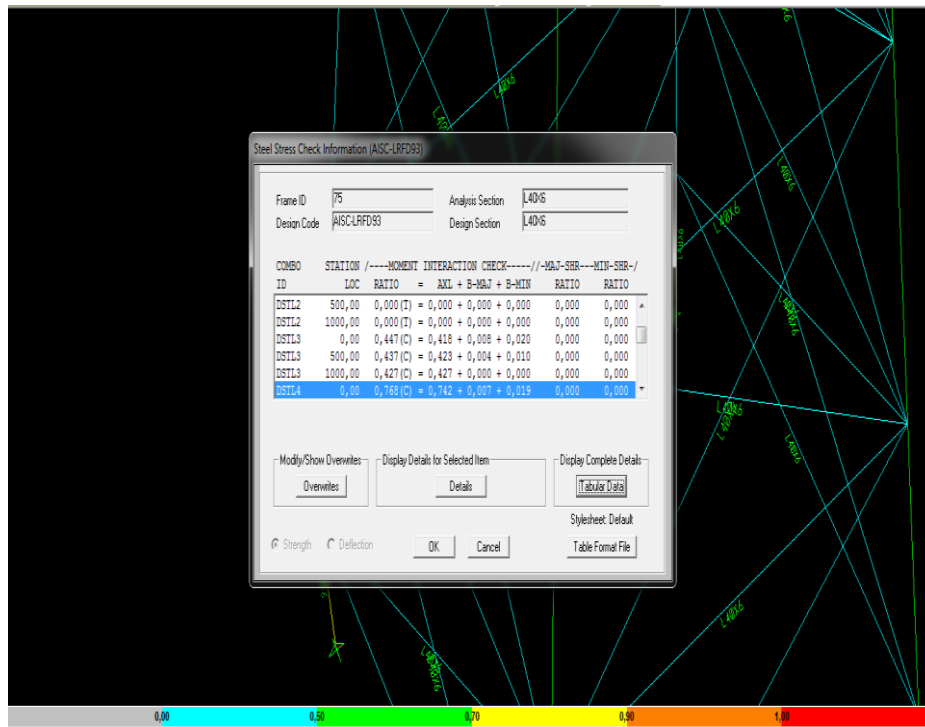


Fig. 6. 42 Factores de seguridad de la estructura.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

La condición de que los factores de seguridad sean menor a 1 es que debe cumplir la relación de esbeltez que es igual a:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} < 1$$

Dónde:

$$f_a = \text{Esfuerzo axial } \frac{F}{A}$$

F_a = Esfuerzo permisible.

f_b = Esfuerzo de flexión.

$$F_b = 0,66 F_y^{45}$$

⁴⁵ Mc cormac pg. 183

RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados se enfocaran a las cargas y combos más representativos es decir los de mayor valor.

Fuerza axial y de torsión.

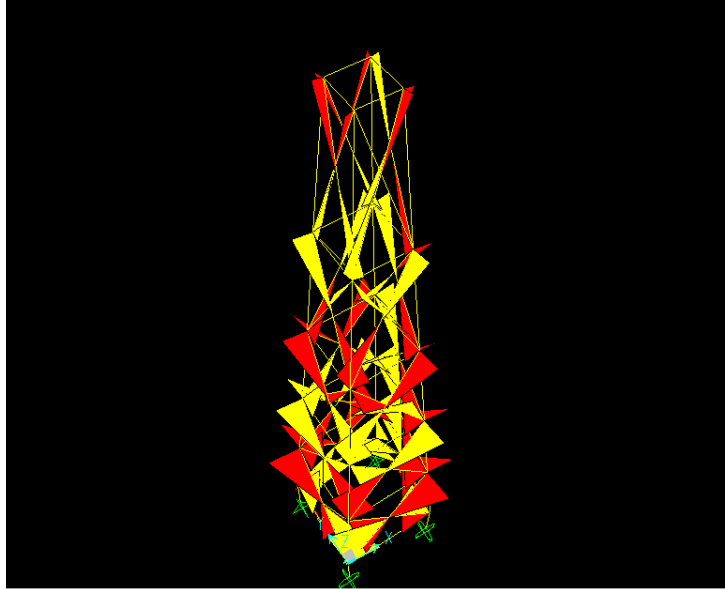


Fig. 6.43 Determinación de fuerzas axiales y a torsión.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Resultados del elemento seleccionado (axial y a torsión).

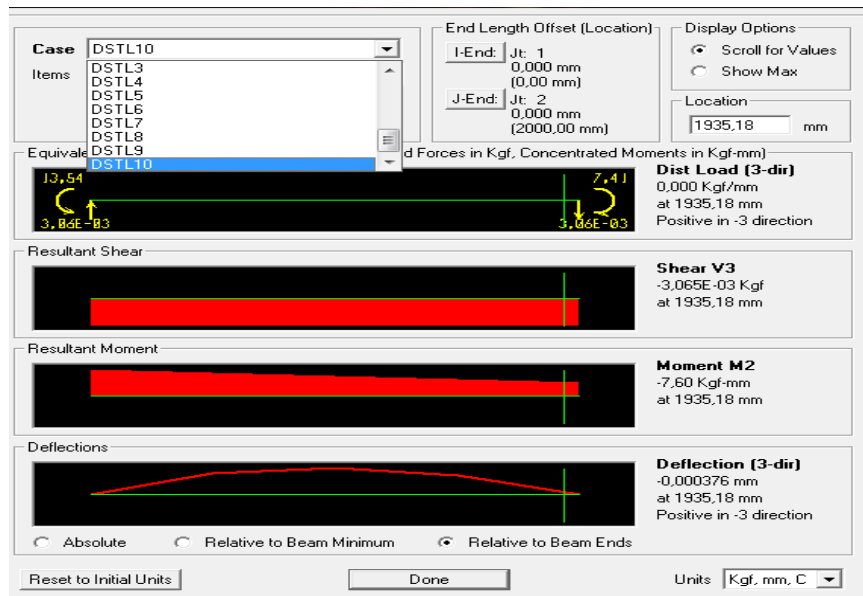


Fig. 6.44 Determinación de fuerzas axiales y a torsión.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

De esta manera se procede para cada uno de los combos para determinar los valores de momento de deformación. Con lo que se puede concluir que la estructura soporta las diferentes cargas aplicadas.

6.9 ADMINISTRACIÓN

6.9.1 Análisis de costos.

Los costos no pueden diagnosticarse con absoluta certeza, pero nos dan una información confidencial y nos sirve de apoyo útil para la planeación, control y toma de decisiones.

Costos directos.

Son los precios que tiene cada uno de los materiales empleados para la construcción del sistema de bombeo eólico.

Tabla 6.17 Plantilla de cálculo de costos directos.

Descripción	Costo total (USD)
Material para perfiles + celosías tipo araña	250
Materiales para torre	650
Eje, chaveta rodamientos ,pernos ,bridas	160
Bomba de pistón cilindro ,varilla de transmisión	520
Soporte de tornamesa	180
Tubería de succión y descarga + accesorios	95
Materiales para el rotor	85
Materiales varios	150
SUBTOTAL = 2090	

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Costos indirectos.

Son todos los gastos correspondientes a la utilización de maquinaria, costo de mano de obra, entre otros que no se ven reflejados directamente en la construcción.

Costo de maquinaria.-es un valor por las horas de trabajo de cada máquina que fue necesaria para la construcción de nuestra propuesta.

Tabla 6.18 Plantilla de cálculo de costos de maquinaria.

Maquinaria	Costo/hora	Horas empleadas	Subtotal(USD)
Torno	5.50	15	82.50
Taladro de pedestal	1.00	10	10.00
Suelda eléctrica	1.50	20	30.00
Pulidora	1.10	10	11.00
Fresa	7.00	10	50.00
Herramientas varias			50.00
SUBTOTAL			233.5

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Costo de mano de obra.- Es el valor que el personal gana por transformar la materia prima en producto final, la cual debe ser tomada muy en cuenta en cada análisis de costos.

Tabla 6.19 Plantilla de cálculo de costos mano de obra.

N° de trabajadores	Costo/hora	Horas empleadas (c/u)	Subtotal (USD)	Total (USD)
4	2.20	125	227	1100

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Costos varios.- Son aquellos costos de actividades paralelas y no directas necesarias para la realización del proyecto.

Tabla 6-20 Plantilla de cálculo de costos varios.

Descripción	Costo (USD)
Viaje al sitio de la implementación del proyecto.	15.00
Copias	5
Impresiones	25
Internet	10
Subtotal	55
10% imprevistos	5.5
TOTAL	60.5

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

Por lo tanto, el costo indirecto total (C_{ind}) se evalúa con la siguiente ecuación:

$$C_{ind} = C_m + C_{mo} + C_v \quad (6.122)$$

Dónde:

C_m = Costo de maquinaria utilizada.

C_{mo} = Costo de mano de obra.

C_v = Costos varios.

$$C_{ind} = 2090 + 1100 + 60.5$$

$$C_{ind} = 3250.5 \text{ USD.}$$

6.7.2 Costo total de construcción del sistema de bombeo eólico.

La cantidad total gastada en la construcción del sistema de bombeo eólico se determina mediante la suma de los costos directos e indirectos:

$$C_t = C_{di} + C_{ind} \quad (6.123)$$

Dónde:

C_t = Costo total.

C_{di} = Costos directos.

C_{ind} = Costos indirectos.

$$C_t = 3250.5 + 233.5$$

$$C_t = 3484 \text{ (USD.)}$$

6.7.3 TMAR

Como todo inversionista tiene en mente antes de invertir, beneficiarse por el desembolso que va a ser, por lo tanto la tasa mínima atractiva de retorno, se considera como premio al riesgo, ya que todo inversionista merece una ganancia adicional a la inflación. Por lo tanto se consideró una tasa de interés del 12% (tasa de préstamo bancario). Interés que está vigente en las diferentes agencias bancarias ya que en todo tipo de negocio se aspira obtener una ganancia por tal razón se realizara con el análisis económico con el interés ante expuesto, ya que toda maquinaria tiene una vida útil de 5 años se calculó el valor actual neto considerando una inversión inicial de 3484 (USD.), y un valor de salvamento de cero.

Recuperación de la inversión.

Para tener una proyección real del tiempo en que se podrá recuperar la inversión que se dará en este proyecto, se detalla a continuación los ingresos anuales que se podrá obtener con dicho proyecto.

Este tipo de sistema de bombeo eólico podrá generar $4.37 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$. Generando una utilidad promedio de $0.25 \text{ ctv}/m^3$ ⁴⁶. Es el costo de un metro cubico hora, pero se necesita $1.57 \frac{m^3}{h}$. Por lo cual se procede a determinar el costo real que en este caso es de 0.40 cts.

Tabla 6.21 Utilidad generada por la máquina de bombeo.

Caudal ($\frac{m^3}{h}$)	Utilidad /m ³	Utilidad diaria (8horas)	Utilidad mensual	Utilidad anual
1.57	0.40	3.20	96	1152

Fuente: Central de aguas el Porvenir.

Igualmente los costos de operación y mantenimiento anual se estiman entre un 3 y 5% del costo de la Aerobomba⁴⁷.

Para lo cual tomamos un valor del 4 % del costo total de la máquina:

$$\text{Mtto} = 3484 * 0.04 = 139.4 \text{ USD} \quad (6.124)$$

Dando una ganancia anual = 1012.6 USD.

Valor actual neto (VAN).

VAN, valor actual neto, es el valor presente de una o varias inversiones; porque a la suma de los flujos descontados se les resta la inversión inicial.

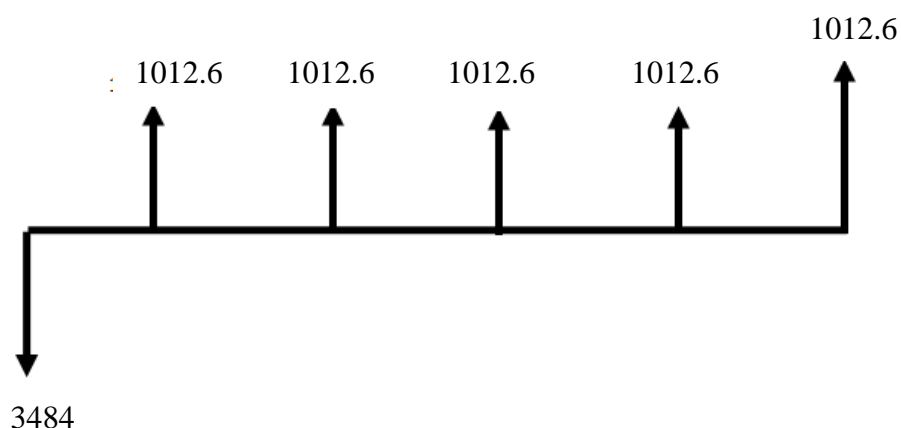


Fig. 6.45 Flujo efectivo para 5 años.

Fuente: Egdo. Daniel Guananga.

⁴⁶ Consejo de aguas del porvenir, Parroquia García Moreno

⁴⁷ Power Guide, 1984

$$VAN = -p + \frac{FNE1}{(1+i)^1} + \frac{FNE2}{(1+i)^2} + \frac{FNE3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n} \quad (6.125)$$

Dónde:

p = Inversión inicial en el año cero.

FNE_n = Flujo neto de efectivo del año n .

i = Tasa referencial al que corresponde el TMAR.

TMAR = 12%

$$VAN = -3484 + \frac{1012.6}{(1+0.12)^1} + \frac{1012.6}{(1+0.12)^2} + \frac{1012.6}{(1+0.12)^3} + \frac{1012.6}{(1+0.12)^4} + \frac{1012.6}{(1+0.12)^5}$$

$$VAN = 166.41 \text{ USD.}$$

Por lo tanto $VAN = 166.41$ dólares > 0 el proyecto es rentable.

Tasa interna de retorno TIR.

Aplicando la ecuación (6.125) y $VAN = 0$ calculamos.

$$0 = -3484 + \frac{1012.6}{(1+i)^1} + \frac{1012.6}{(1+i)^2} + \frac{1012.6}{(1+i)^3} + \frac{1012.6}{(1+i)^4} + \frac{1012.6}{(1+i)^5}$$

$$i = 0.14$$

$$TIR = 14 \%$$

6.7.5 Interpretación del VAN y del TIR.

Como el TIR es mayor que TMAR la opción de construir un sistema de bombeo eólico representa una buena opción.

6.8 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

6.8.1 Manual de instalación, reparación y mantenimiento para una aerobomba.

En este manual se presentan todos los pasos a seguir para la instalación, mantenimiento y reparación de máquinas eólicas para el bombeo de agua, es bueno destacar que el cabezal y la bomba, en este manual se puede aplicar tanto en las maquinas industriales como artesanales, mejorando el rendimiento de estos equipos.

Este manual recoge, principalmente, la experiencia en la instalación, mantenimiento y reparación de diversos equipos, definida como el tiempo de operación continua, y la

vida útil de una maquina depende mucho del diseño de la bomba y el seguimiento de las indicaciones para el mantenimiento de sus componentes.

➤ **Aspecto fundamental para una buena instalación.**

Antes de realizar la instalación conviene preparar a las personas participantes para que se identifiquen con el procedimiento y conozcan tanto los componentes como las herramientas que serán usadas⁴⁸.

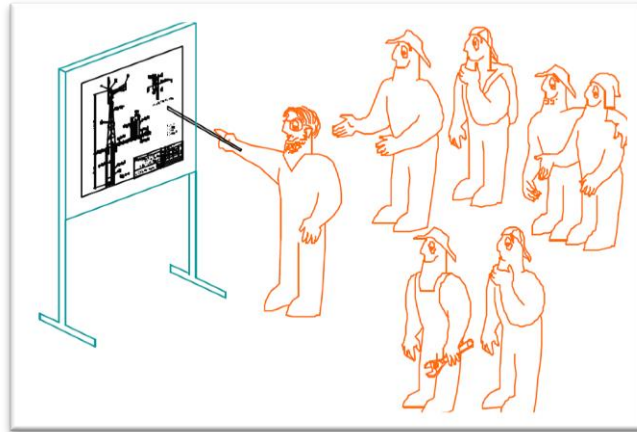


Fig. 6.46 Preparación a los involucrados en el proyecto.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

➤ **Características de la Instalación.**

Debe ser realizada de una forma tal que el rotor capte la mayor cantidad de viento posible.

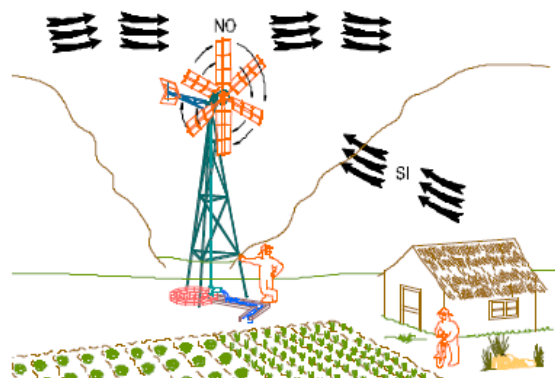


Fig.6.47 Colocación óptima de la aerobomba.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

⁴⁸ manual de instalación, reparación y mantenimiento de Aerobombas

El aerogenerador debe operar con los vientos predominantes e intensos, evitando obstáculos que desvíen o alteren el curso del viento.

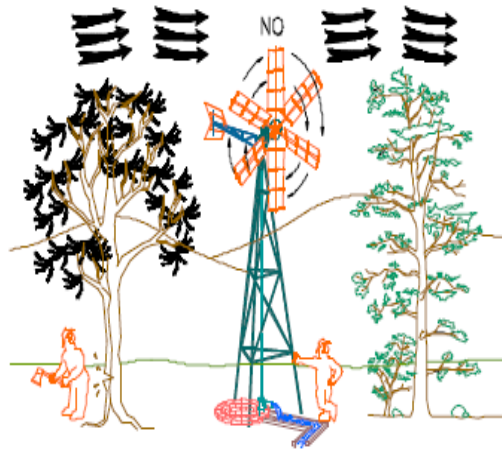


Fig.6.48 Colocación no óptima de la Aerobomba.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

- **Transporte de los componentes.** Se debe realizar con vehículos apropiados para evitar el daño de estos.

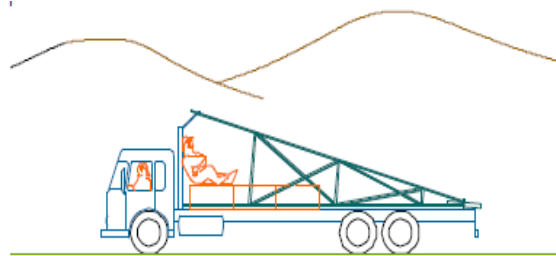


Fig. 6.49 Transporte de los componentes.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

Descarga y traslado de los componentes. Estos deben ser dejados lo más próximo al lugar de instalación.

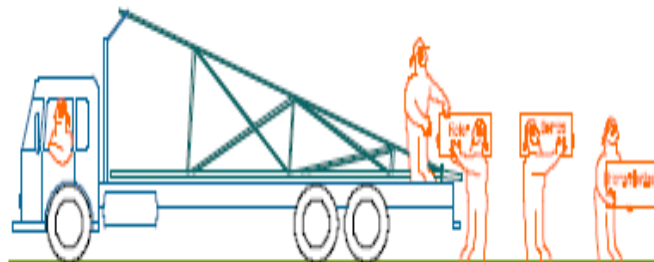


Fig. 6.50 Descarga de los componentes.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

Ubicación de componentes en el lugar de instalación. Colocar en el terreno, estos según la secuencia de instalación.



Fig. 6.51 Descarga de Tornamesa y Veleta.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

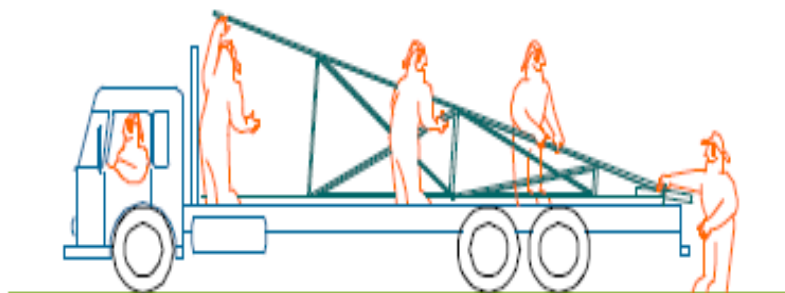


Fig. 6.52 Descarga de Torre.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

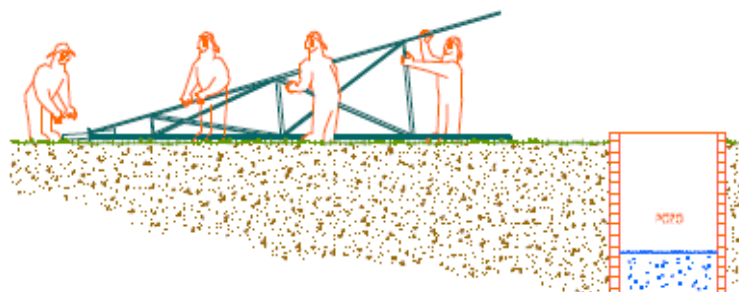


Fig. 6.53 Traslado de Torre al lugar de instalación.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

➤ **Componentes de un Molino de Viento.**

Los elementos que conforman el Rotor son:

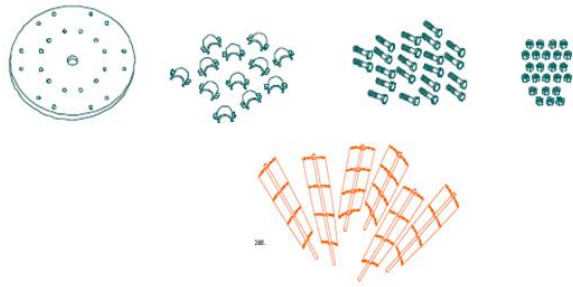


Fig. 6.54 Rotor, abrazaderas, pernos tuercas, aspas.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

Los elementos que conforma la tornamesa son:

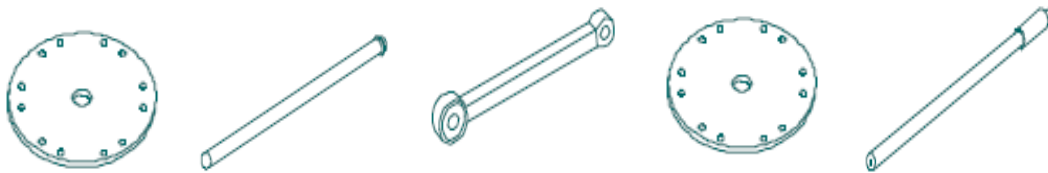


Fig. 6.55 Plato del rotor, biela, plato manivela, eje.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

Los elementos que conforman la Veleta son:

1. Soporte de la veleta.
2. Cola.

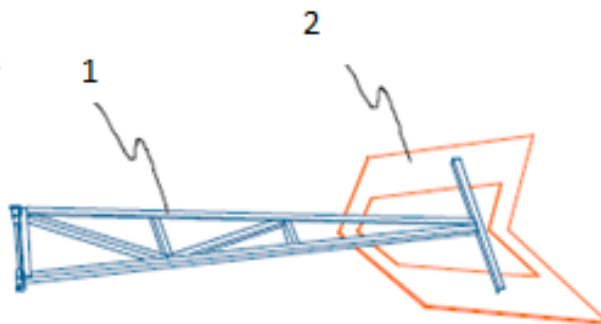


Fig. 6.56 Componentes de la veleta.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

Los elementos que conforman la transmisión son:

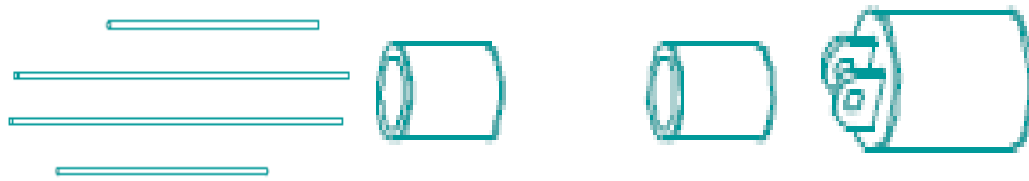


Fig. 6.57 Barra, uniones, rotula.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

Los elementos que conforman la Bomba son:

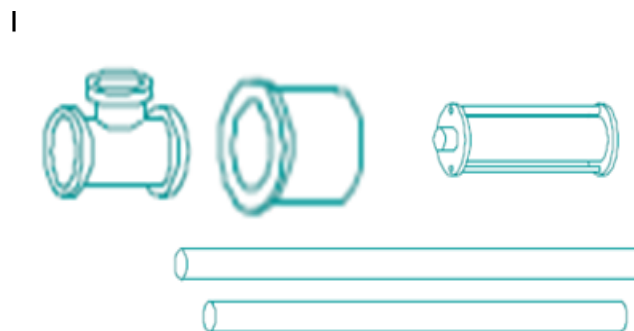


Fig. 6.58 Tee, válvula de pie, cuerpo de bomba, tubo de descarga, tubo de aspiración.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

Las herramientas y elementos de unión necesarios para la Instalación de un Molino de viento son:

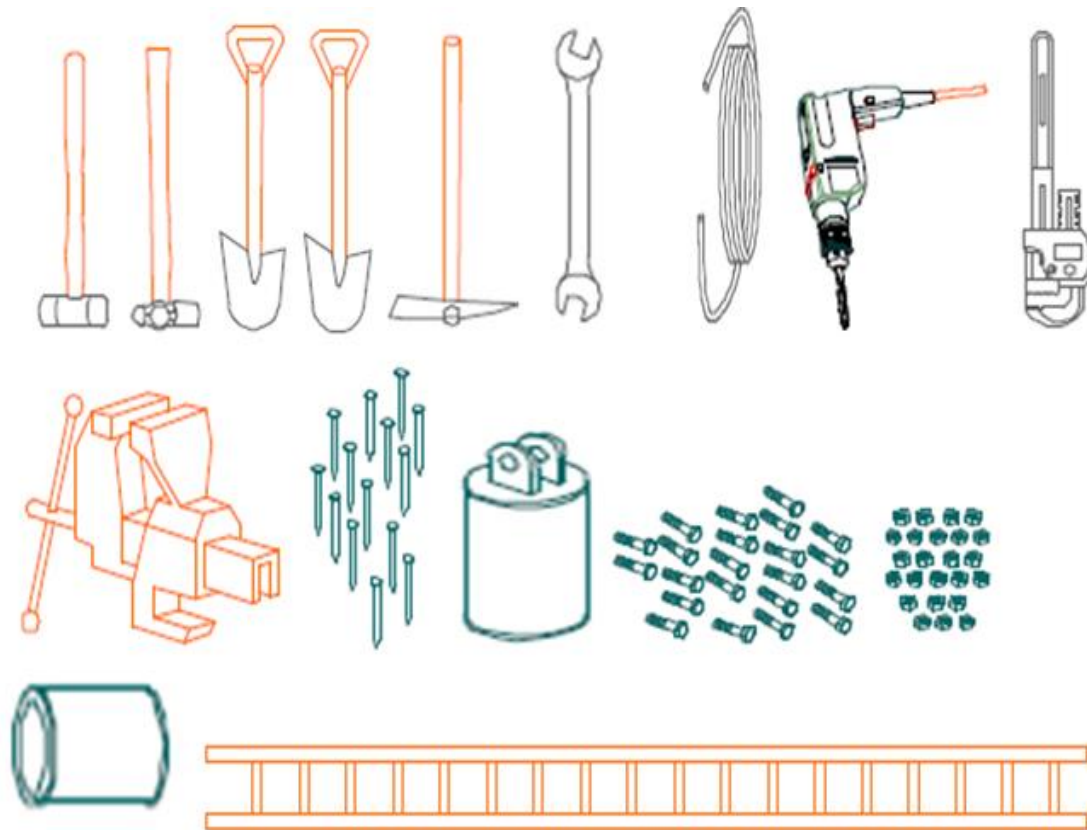


Fig. 6.59 Martillo, lampa, pico, llaves, sogas, taladro, pico de loro, entenalla, clavos, rotula, tuercas y pernos, uniones, escalera.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

- **Pasos para la Instalación de un Molino de Viento.**
- Verificar las medidas del Rotor.

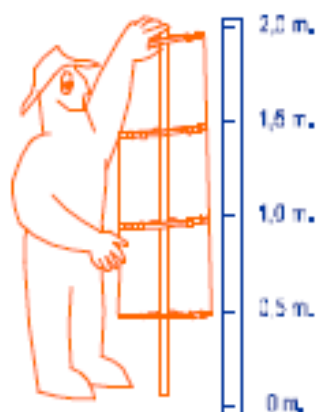


Fig. 6.60 Verificar las medidas de la pala y diámetro del Rotor.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

Preparación de la Tornamesa.

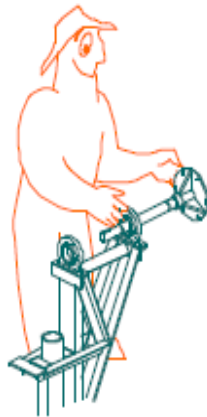


Fig. 6.61 Montaje del Plato Rotor en la Tornamesa.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.



Fig. 6.62 Colocación del Plato Manivela en la Tornamesa.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

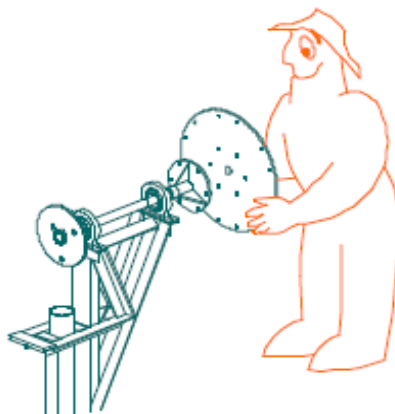


Fig. 6.63 Colocación del cubo en el eje.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

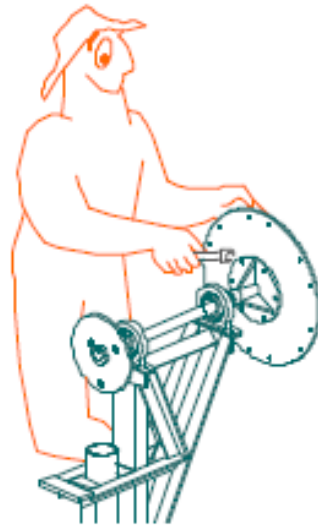


Fig. 6.64 Aseguramiento de la cuba en el plato rotor.
Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

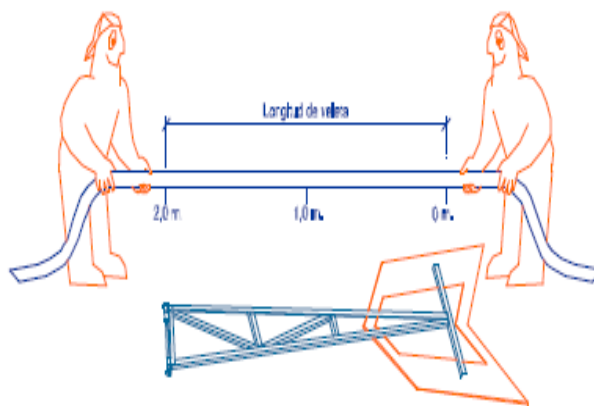


Fig. 6.65 Verificación de las dimensiones de la veleta.
Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

Instalación de la Bomba.

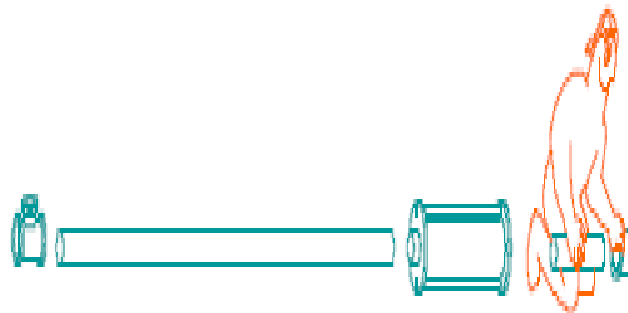


Fig. 6.66 Colocación del tubo de aspiración.
Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.



Fig. 6.67 Colocación el tubo de descarga.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.



Fig. 6.68 Colocación de la Tee de salida de agua.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.



Fig. 6.69 Colocacion de la bomba al pozo.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

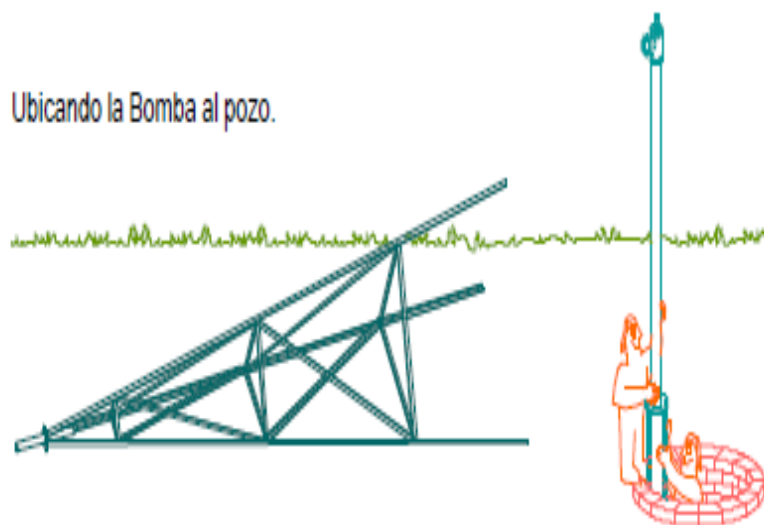


Fig. 6.70 Ubicando la bomba al pozo.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

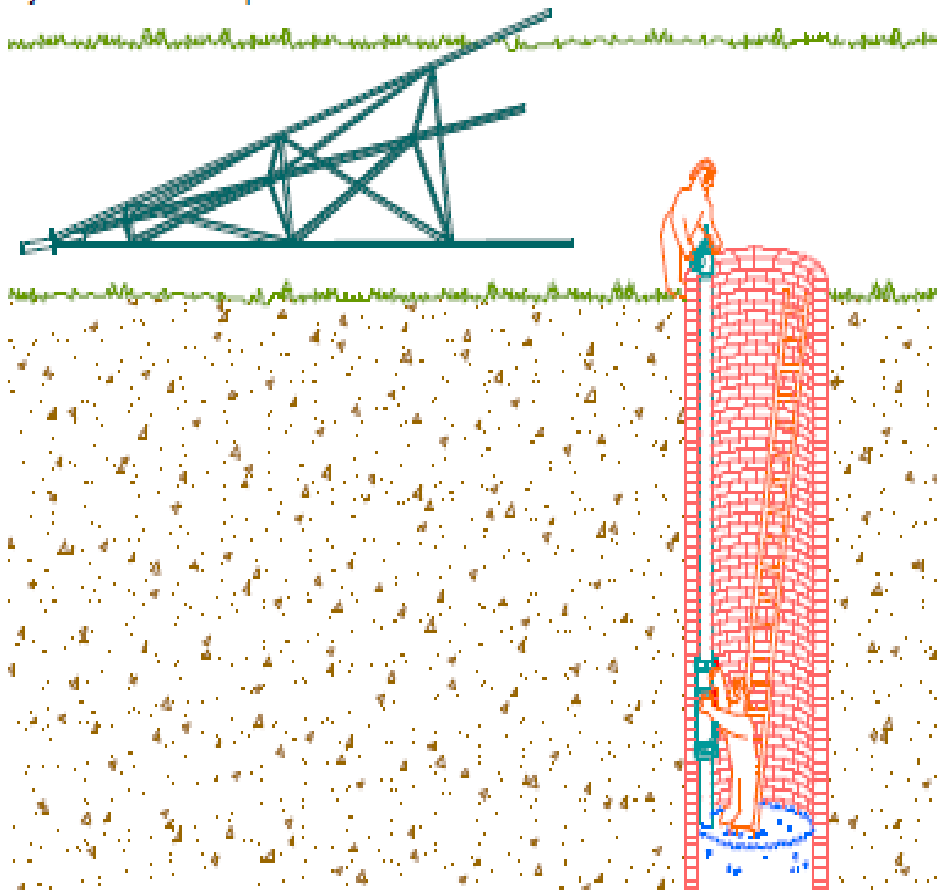


Fig. 6.71 Sujeción de la bomba al pozo.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

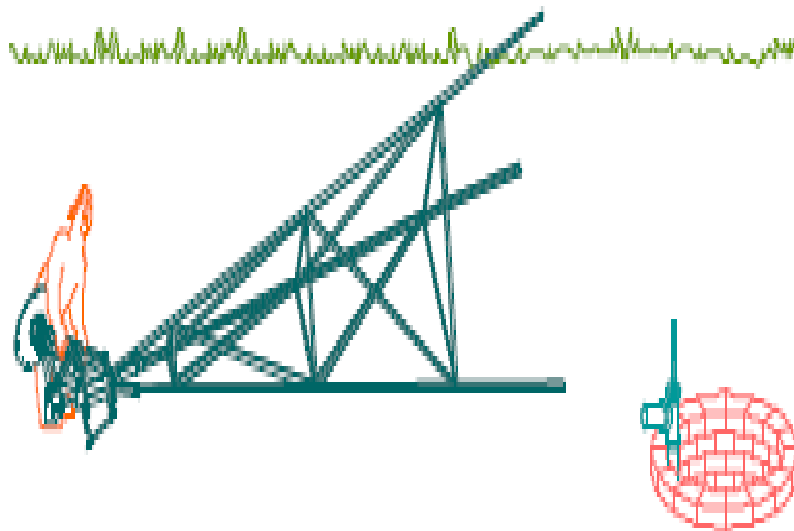


Fig. 6.72 Montaje de la tornamesa en el trípode de la torre.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

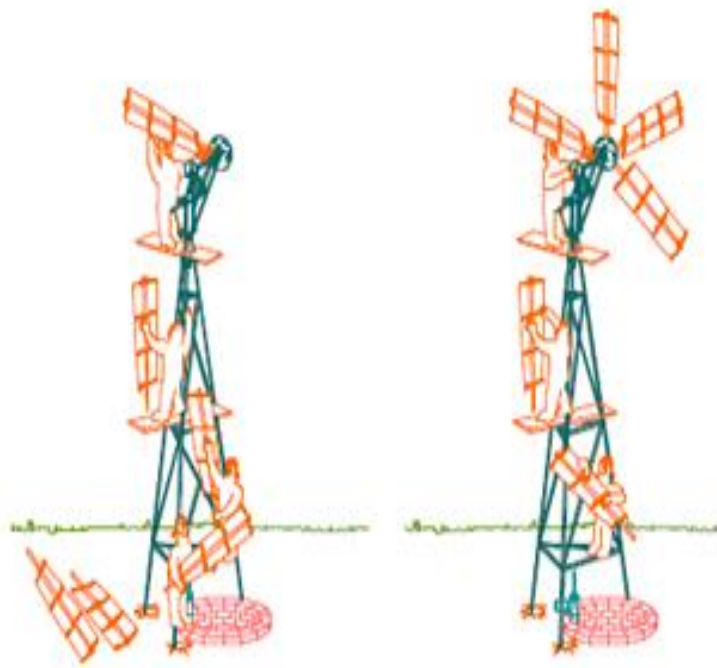


Fig. 6.73 Colocación de aspas.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

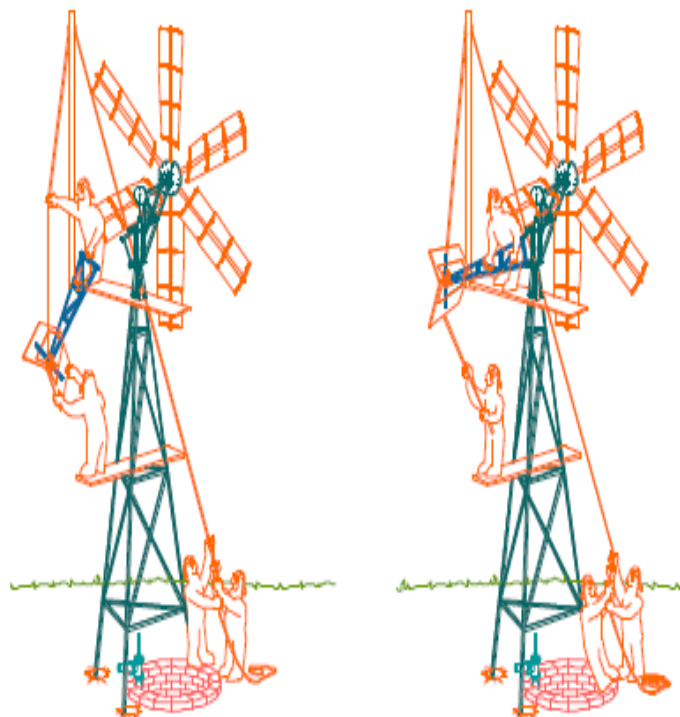


Fig. 6.74 Colocación de la veleta en la tornamesa.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

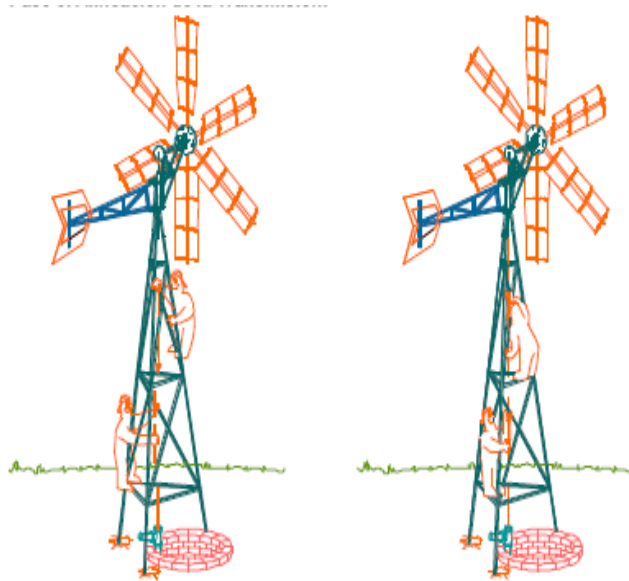


Fig. 6.75 Alineación de la transmisión.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.⁴⁹

⁴⁹ Manual de instalación, reparación y mantenimiento de Aerobombas, Lima – Perú 2004, pg. 3 - 24.

Tabla 6.22 Cuadro de mantenimiento bianual

periodo componente	Inicio	Semestral	Anual	18 meses	Bianual
1. rotor					
Desmontaje, limpieza ,pintado, cambio de pernos			X		
2. tornamesa					
Lubricación de soporte móvil.	X	X	X	X	X
Repintado de estructuras			X		X
Cambio de rodales					X
3. veleta					
Lubricación de zonas de ensamble a tornamesa.	X	X	X	X	X
Desmontaje y repintado			X		X
4. torre					
Repintado de torre			X		X
Ajuste de pernos	X	X	X	X	X
5. transmisión					
Lubricación de corredera y unión giratoria	X	X	X	X	X
Repintado de elementos			X		X
Cambio de rodajes					
6. bomba					
Inspección de aliviadero	X	X	X	X	X
Desmontaje y cambio de empaquetadura			X		X

Fuente: Egdo. Daniel Guananga

BIBLIOGRAFÍA

Fuentes bibliográficas

- ✓ ACESCO, Manual de Diseño de Perfiles Estructurales en Acero de lámina delgada.
- ✓ BOHLER, Manual de Aceros especiales, bronces especiales, tratamientos térmicos, Mayo 2005.
- ✓ CULTURAL, S.A., Mecánica de taller, Materiales Metrología I, España, 1993
- ✓ CUNTY GUY, Aeromotores y Aerogeneradores –Guía de la energía eólica, edición Marzo 80, Barcelona - España.
- ✓ DIPAC, Catálogo de aceros, Ecuador, 2003.
- ✓ EDICIONES DON BOSCO, Dibujo Mecánica 4, Barcelona ,1981
- ✓ ESCUELA POTECNICA NACIONAL, Manual of Steel Construction AISC, eighth edition, Chicago,-Illinois, Quito, febrero 1997.
- ✓ FUNDACIÓN NATURA, Energías Renovables: Conceptos y Aplicaciones, Quito 2003.
- ✓ HIBBELER, Ingeniería Mecánica Dinámica, Pearson Hall, séptima edición, México, 1996.
- ✓ INEN, Dibujo Técnico – Mecánico, Quito – Ecuador, 1989.
- ✓ IPAC, Catálogo de aceros, Ecuador, 2002.
- ✓ IVAN BOHMAN C.A, Catálogo de aceros, Ecuador, 2009
- ✓ McCORMAC J, Diseño de Estructuras Metálicas- Método ASD, Alfa omega, Cuarta edición, México, 1999.
- ✓ MORA IDROVO EDUARDO W, Utilización de Energía Eólica para Extracción de Agua
- ✓ MOTT Robert, Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Segunda edición, México, 1992.
- ✓ .SÁNCHEZ TEODORO: Desarrollo Tecnológico de Microgeneradores eólicos
- ✓ SANTILLÁN R, Recursos energéticos no convencionales- energía eólica, Riobamba- Ecuador, 1986.
- ✓ SANTILLÁN RODOLFO: Fuentes renovables de energía
- ✓ SHIGLEY Joseph, Manual de diseño mecánico, Mc Graw-Hill, Cuarta edición, México, 1989
- ✓ ENERGÍA EÓLICA, Miguel Villarrubia, CEAC, 2004.

- ✓ SHIGLEY Joseph, Diseño en Ingeniería Mecánica, Mc Graw-Hill, Quinta Edición, México, 1990
- ✓

Internet

- ✓ www.aerobombas.com, acceso 2-03-2009
- ✓ www.aerobombas/instalaciones.htm, acceso 2-02-2009
- ✓ www.aerogeneradores.com, acceso 12-03-2009
- ✓ www.Bombeo eólico, Molinos de viento, Aerobombas.com, acceso 5-03-2009
- ✓ www.bombas.com, acceso 20-02-2009
- ✓ www.Bombas hidráulicas.com, p 1, acceso 16-01-2009
- ✓ www.clima.com, acceso 2-03-2009
- ✓ www.energía-eólica.com, acceso 29-02-2009
- ✓ www.INAMHI.com, acceso 2-09-2009
- ✓ www.molinos.com, acceso 23-03-2009
- ✓ www.PortalCiencia_ Viento Origen y clasificacion.com, acceso 5-03-2009
- ✓ www.rotos.com, acceso 13-02-2009
- ✓ www.vientos.com, acceso 23-03-2009
- ✓ www.wind-power.com, acceso 8-03-2009
- ✓ Ministerio de Justicia .Código de aguas. <http://www.bcn.cl/leves/pdf/actualizado/5605.pdf>
- ✓ ALVENT <http://www.aerobombas.com/características.shtml>
- ✓ JOBER MOLINO. <http://www,industriasjober.com/selección.htm>
- ✓ SEVMLe Mistral. <http://www.eolienne-le-mistral.com/index.htm#>
- ✓ Comet. <http://www.cometwindmills.com.au/products.html>
- ✓ Turbex. <http://www.turbex.co.za/competition.htm>
- ✓ Alvaro Pinilla.Harold Hernández .Disminución de carga de arranque en aerobombas .resumen.
- ✓ <http://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/rev5art2.pdf?ri=d440d879453873558618351c5b5ab8>
- ✓ Southern Cross. <http://windmillz.biz/>
- ✓ Salmson. <http://www.salmson.fr/pdf/guide> add surp.pdf
- ✓ <http://sleekfreak.ath.cx:81/3wdev/VITAHTML/SUBLEV/EN1/RENENRGY.HTM>
- ✓ http://146.83.6.25/literatura/memorias_tesis/AEROGENERADOR MEMORIA FINAL.pdf

- ✓ <http://www.iit.upco.es/~oscar/pfc/sesion02.pdf>
- ✓ <http://www.iit.upco.es/~oscar/pfc/sesion02.pdf>
- ✓ http://www.windenergy.org/http://www.tecnopoint.com/es/biblioteca/desarrollos_ustentable/Energia/energía-eólica-energia-de-viento/
- ✓ [http:// www.windatlas.dk/World/Index.htm](http://www.windatlas.dk/World/Index.htm)
- ✓ <http://www.bergey.com/Maps/World.Wind.Lg.htm>
- ✓ <http://www.windturbine.net/Siting.htm>
- ✓ http://oceanography.geol.ucsb.edu/AWP/Class_Info/GS-
- ✓ <http://www.dailykos.com/story/2005/5/25/112821/690>
- ✓ www.molinosjober.com
- ✓ <http://extractoresgm.galeon.com/productos931826.html>
- ✓ <http://rabfis15.uco.es/1vct/tutorial/41/INDEX.htm>
- ✓ <http://200.10.149.215/tesis/D-5130.pdf>.
- ✓ <http://www.asades.org.ar/averma/3-1999/06-33.pdf>.

Amexos

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO

TABLA DE VELOCIDADES DE VIENTO

LUGAR: CANTON PELILEO ,BARRIO LA LIBERTAD

RALIZADO POR : GUANANGA GUEVARA DANIEL

Año	2012		Mes:	abril/may		Dia: 19 de abril / 19 de mayo
-----	------	--	------	-----------	--	-------------------------------

H/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Vm/dia (m/s)	
1	2,4	2,9	3,1	3,5	3	3,5	4,2	4,6	5	5,5	6,1	7,3	8,2	8	8	7,5	7,5	7	5,8	5,3	3,5	3,2	2,8	2,5	5,01	
2	2,8	2,4	3	3,7	3,5	4,4	5	4,1	4,8	5,3	5,8	6,3	7,9	8,3	8,5	7,1	8	7,3	6	5,7	4,2	2,8	2,5	2,7	5,08	
3	2,5	3,8	3,3	2,9	3,1	4,6	4,3	5,6	5,7	6	6,8	7,1	7,5	8,5	8,9	8,2	7,7	7,1	6,4	3,5	2,8	2,9	1,9	2	5,13	
4	3,1	3,4	2,8	2,4	3,1	3,7	5	4,8	5,9	5,4	3,5	4,8	6	7,6	7,9	8,1	9	8,8	7	6,4	4,3	3,2	3	2,4	5,07	
5	2,3	4,1	3,5	3	3,9	4,2	5,7	6	5,8	7,2	8,1	6,9	8	8,9	9,1	10	11	8,6	7,8	6,4	5,5	4,8	3,2	3	6,13	
6	1,9	2,9	4	3,8	2,7	3,7	4,6	5,4	5,8	6,4	7,6	8,3	8,9	8,7	9,4	9,6	10	11	8,4	5,5	4,6	4,2	3	2,7	5,97	
7	2,9	3,1	3,7	4,3	5,1	6,1	5,8	6,2	7,1	7,7	8	7,6	9	8,8	9,4	10	11	11	7,5	6,5	3,7	3,2	3	3,1	6,38	
8	2,2	2,6	3,2	4,2	5	5,5	4,5	5	5,8	6,1	6,7	7,1	8	8,6	7,6	8,9	9,3	10	8,1	5	5,4	3,8	2,6	3	5,76	
9	3,7	3,2	3,6	6	4	5,3	4,2	4,8	5,2	6,7	6	7,1	6,4	8,3	10	12	11	12	7,2	6,3	3,9	2,5	2	2,6	5,99	
10	3,8	2,5	4	4,8	5,6	4,9	3,8	5,3	6	5,4	5	7,4	9,6	10	7,5	12	9,9	11	9,7	5,9	4,9	3,6	3	2,9	6,19	
11	4	2,7	2,4	3,5	5	6,3	5,3	5,4	4,7	5,8	6	6,4	7,1	7,5	5,2	4,5	6,5	6,8	7,7	6,5	4,5	3,5	4	3,1	5,18	
12	1,5	1,9	2,3	3,7	5,8	6	3,7	3,5	4,6	5	4,6	6	8,1	5,7	6,4	7	7,7	4,5	3,9	2,6	1,8	2,2	2	1,8	4,26	
13	2,5	2,5	3,2	3,7	6	4	5,3	4,3	4,8	5,5	6,7	7,1	6,4	8,3	10	12	12	11	7,2	6,3	3,9	3,2	3,3	2,8	5,91	
14	4,5	5,4	3,1	5	4,9	4,7	5,3	7,2	5,3	6,9	7	7,5	8	8,8	10	12	14	12	8,8	8,6	6,1	5	4,5	4,6	7,08	
15	2,3	2,8	3,6	4	5,5	6,1	6,8	7,3	5,6	6,9	7,3	6,5	8	8,9	9,4	7,6	9,7	10	8,2	5,3	3,6	4	2,9	2	6,01	
16	3,8	3,5	4,1	3,6	4,8	5,6	6,1	7,2	6,8	6,5	5,9	7,8	8,3	8	8,8	10	9,9	10	11	12	6,8	7	5,6	4,3	7,00	
17	4,9	4	3,8	2,9	4,5	5	5,4	4,5	5,1	6	6,6	7,2	7,8	8,4	8,8	6,9	9,8	10	12	9,3	6,1	6,3	5	4,5	6,45	
18	1,4	2,3	2,1	3,7	5,2	5,6	6	6,3	5,4	4,9	5,7	6,8	7,3	7,7	6,2	7	7,7	6,8	7,5	6,9	4,3	3	2,7	2	5,19	
19	3,5	2,9	4,1	4,6	3,8	4,8	5,9	3,5	4,9	6	7,2	8	8,6	9,4	10	11	8,6	9,6	8,3	7,2	5,6	5,1	3,4	2,9	6,22	
20	4,8	4,4	3,4	4,2	5,3	6,2	5,3	7,2	8	7,9	8	7,1	9	8,3	9,2	12	12	12	11	10	9,3	7	6	5,2	7,61	
21	5,6	3,6	2,8	4	4,7	3,9	6	6,8	7,5	6,7	8,5	8,2	8	7,2	9,8	11	10	9,5	10	11	8,2	6,1	4,5	5	7,01	
22	3	3,2	3,4	4,3	5,3	7,2	4,3	6	5,5	7,2	6,8	8,9	11	14	13	12	14	10	7,3	7,1	6,6	4,5	3,9	3	7,16	
23	1,9	2,8	2,3	3	4,1	4	5,3	6,5	8	7,9	7,1	9	9,3	7,8	9,2	10	9,2	12	9,5	7,3	5,1	4,5	2,8	2,3	6,29	
24	2,5	3	3,3	4,5	3,6	5,6	6,3	7	6,8	8,3	8	7,5	8,6	9	7,6	11	10	12	9,6	7	6,2	5,6	4,6	2,7	6,67	
25	3,5	4	3,6	4,3	5	5,5	5,2	6,1	6,5	7,1	7,9	8,3	8,7	9,5	12	13	14	15	13	7,3	6	5,8	5,5	4,2	7,48	
26	2,3	4,1	3,9	4	6,3	6	5,6	5,3	6,9	6,3	6,5	7,5	9,1	10	12	14	12	15	9,5	6,2	3,6	3	2,5	1,8	6,78	
27	4,1	4,3	5	3,1	4,5	5,8	7,2	6,5	7,3	7,6	8,1	8,6	9,6	11	13	14	15	13	11	7,6	5,6	4,2	3,6	4	7,69	
28	3,3	3,8	2,8	5	5,1	7,1	6,4	6,1	5,5	4,5	6,7	7,6	8,4	9,4	10	7,6	9,2	10	8,6	6,1	5,3	4,5	2,8	2,5	6,20	
29	4,5	3,3	1,6	3,3	2,5	4,5	4,4	7,1	7,5	6,4	7,8	8,1	9,2	7,4	9,2	10	11	13	7,6	6	4,7	6,1	4,6	3,5	6,38	
30	5,1	5,1	6	4,5	5	6,3	7,3	8,3	7,6	8,1	7,3	8	8,6	9	8	13	14	15	15	15	14	14	9	5,6	9,08	
T	98	102	104	121	141	162	167	182	190	203	214	234	262	275	290	314	327	330	279	232	181	160	133	119		
																							velocidad media total(m/s)		:	6,28

FIRMA DEL RESPONSABILIDAD

Anexo 2 Función gamma

x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$
1.00	1.00000	1.25	0.90640	1.50	0.88623	1.75	0.91906
1.01	0.99433	1.26	0.90440	1.51	0.88659	1.76	0.92137
1.02	0.98884	1.27	0.90250	1.52	0.88704	1.77	0.92376
1.03	0.98355	1.28	0.90072	1.53	0.88757	1.78	0.92623
1.04	0.97844	1.29	0.89904	1.54	0.88818	1.79	0.92877
1.05	0.97350	1.30	0.89747	1.55	0.88887	1.80	0.93138
1.06	0.96874	1.31	0.89600	1.56	0.88964	1.81	0.93408
1.07	0.96415	1.32	0.89464	1.57	0.89049	1.82	0.93685
1.08	0.95973	1.33	0.89338	1.58	0.89142	1.83	0.93969
1.09	0.95546	1.34	0.89222	1.59	0.89243	1.84	0.94261
1.10	0.95135	1.35	0.89115	1.60	0.89352	1.85	0.94561
1.11	0.94740	1.36	0.89018	1.61	0.89468	1.86	0.94869
1.12	0.94359	1.37	0.88931	1.62	0.89592	1.87	0.95184
1.13	0.93993	1.38	0.88854	1.63	0.89724	1.88	0.95507
1.14	0.93642	1.39	0.88785	1.64	0.89864	1.89	0.95839
1.15	0.93304	1.40	0.88726	1.65	0.90012	1.90	0.96177
1.16	0.92980	1.41	0.88676	1.66	0.90167	1.91	0.96523
1.17	0.92670	1.42	0.88636	1.67	0.90330	1.92	0.96877
1.18	0.92373	1.43	0.88604	1.68	0.90500	1.93	0.97240
1.19	0.92089	1.44	0.88581	1.69	0.90678	1.94	0.97610
1.20	0.91817	1.45	0.88566	1.70	0.90864	1.95	0.97988
1.21	0.91558	1.46	0.88560	1.71	0.91057	1.96	0.98374
1.22	0.91311	1.47	0.88563	1.72	0.91258	1.97	0.98768
1.23	0.91075	1.48	0.88575	1.73	0.91467	1.98	0.98171
1.24	0.90852	1.49	0.88595	1.74	0.91683	1.99	0.99581
						2.00	1.00000

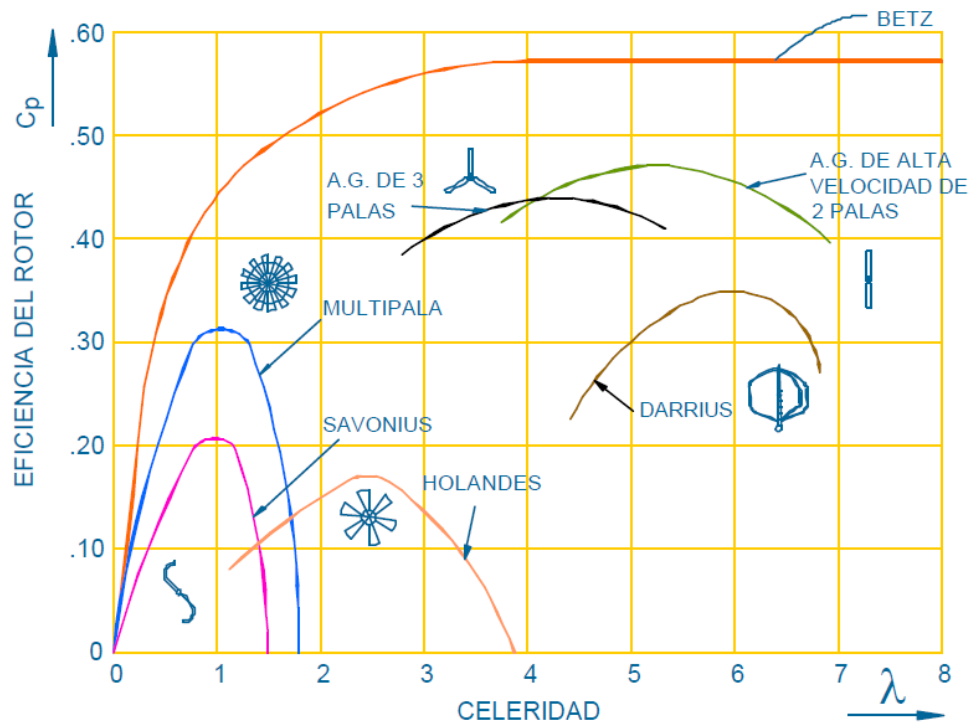
Anexo 3 Propiedades del agua pura a presión atmosférica

Temperatura (°C)	Densidad (kg/m³)	Viscosidad dinámica η (10^3 kg/m · s)	Viscosidad cinemática ν $10^6 \frac{m^2}{s} = cSt$
0	999,8	178,7	1,787
2	999,9	167,1	1,671
4	1,000	156,2	1,562
6	999,9	146,4	1,464
8	999,8	137,6	1,375
10	999,7	130,5	1,307
12	999,4	122,6	1,227
14	999,2	116,1	1,163
16	998,9	110,4	1,106
18	998,5	105,2	1,053
20	998,2	100,2	1,0038
22	997,7	95,5	0,957
24	997,2	91,1	0,914
26	996,6	87,2	0,875
28	996,1	83,4	0,837
30	995,7	79,7	0,801
32	994,9	76,4	0,768
34	994,2	74,1	0,745
36	993,4	70	0,705
38	992,8	68	0,685
40	992,2	65,3	0,658
45	990,2	59,8	0,604
50	988	54,8	0,554
55	985,7	50,5	0,512
60	983,2	46,7	0,475
65	980,6	43,4	0,443
70	977,8	40,4	0,413
75	974,8	37,8	0,388
80	971,8	35,5	0,365
85	968,6	33,4	0,345
90	965,3	31,5	0,326
95	961,8	29,8	0,310
100	958,4	28,2	0,295
150	916,9	18,6	0,205
200	864,6	13,6	0,161
250	799,2	10,9	0,14
300	712,4	8,91	0,132

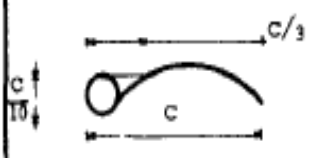

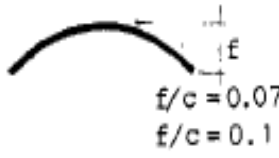
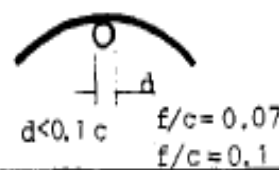

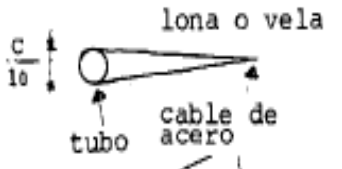
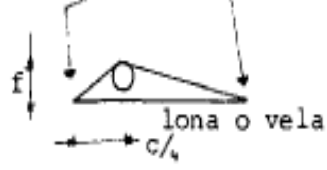
Anexo 4 Valores de relaciones de interés en aplicaciones de energía eólica en función del parámetro k para una distribución de Weibull

k	$\langle v \rangle / v_c$	$\sigma / \langle v \rangle$	$\nu / \langle v \rangle$	$v_m / \langle v \rangle$	$F_c = \langle v^3 \rangle / \langle v \rangle^3$	$F_c^{1/3}$
1.2	0.941	0.837	0.783	0.239	3.99	1.59
1.4	0.911	0.724	0.844	0.448	3.03	1.45
1.6	0.897	0.640	0.887	0.604	2.48	1.35
1.8	0.889	0.575	0.917	0.717	2.14	1.29
2.0	0.886	0.523	0.939	0.798	1.91	1.24
2.2	0.886	0.480	0.956	0.857	1.75	1.21
2.4	0.886	0.444	0.968	0.901	1.63	1.18
2.6	0.888	0.413	0.978	0.934	1.53	1.15
2.8	0.890	0.387	0.985	0.959	1.46	1.13
3.0	0.893	0.363	0.991	0.978	1.40	1.12
3.2	0.896	0.343	0.996	0.993	1.36	1.11
3.5	0.900	0.316	1.001	1.010	1.30	1.09
4.0	0.906	0.281	1.007	1.027	1.23	1.07
5.0	0.918	0.229	1.012	1.042	1.15	1.05
6.0	0.928	0.194	1.014	1.046	1.11	1.04
7.0	0.935	0.168	1.014	1.046	1.08	1.03
8.0	0.942	0.148	1.014	1.044	1.06	1.02
9.0	0.947	0.133	1.014	1.042	1.05	1.02
10.0	0.951	0.120	1.013	1.040	1.04	1.01

Anexo 5 curvas de comportamiento típicas de diversas maquinas eólicas



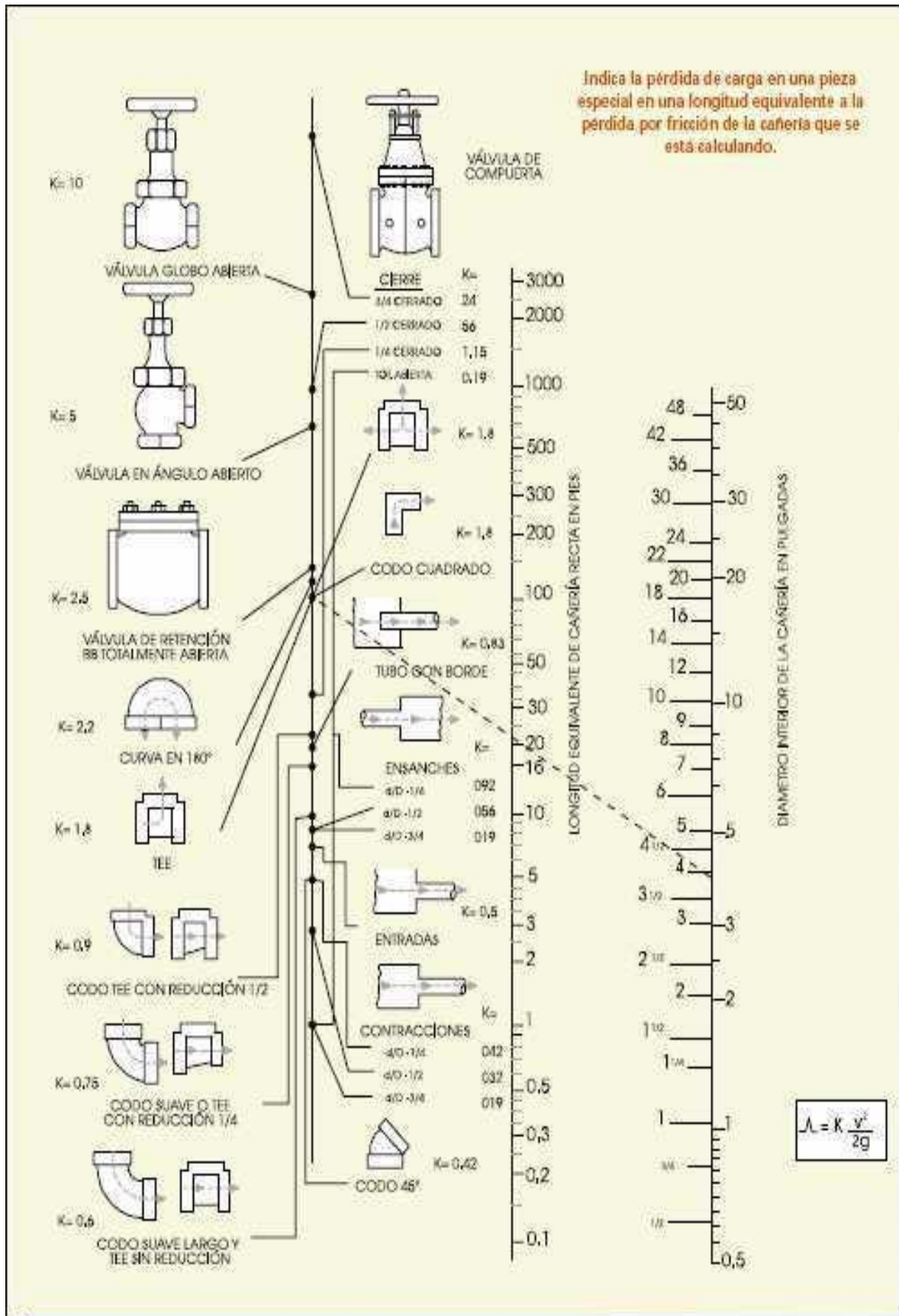
Anexo 6 Características de diseño de diversos tipos de alabes

NOMBRE DEL PERFIL	DESCRIPCION GEOMETRICA	(C_D/C_L) min	α°	C_L
Mástil y vela		0.1	5	0.8
Placa de acero plana		0.1	4	0.4
Placa de acero arqueada		0.02 0.02	4 3	0.9 1.25
Placa de acero arqueada con un tubo en el lado cóncavo		0.05 0.05	5 4	0.9 1.1
Placa de acero arqueada con un tubo en el lado convexo		0.2	14	1.25
Vela de navegación		0.5	2	1.0
Vela de navegación de dos faces $f/c \approx 0.1$ $d_{\text{tubo}} \approx 0.6f$		0.1	4	1.0
NACA 4412	ver Apéndice A	0.01	4	0.8

Anexo 8 Pérdidas de carga

ACCESORIOS	PÉRDIDAS DE CARGA MEDIA
1- De depósito a tubería. Pérdida de entrada. - Conexión a ras de la pared - Tubería entrante - Conexión abocinada	$0,50 \frac{V_1^2}{2g}$ $100 \frac{V_1^2}{2g}$ $0,30 \frac{V_1^2}{2g}$
2 - De tubería a depósito. Pérdida a la salida.	$100 \frac{V_1^2}{2g}$
3 - Ensanchamiento brusco	$\frac{V_1 - V_2}{2g}$
4 - Ensanchamiento gradual	$K \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$
5 - Venturímetros, boquillas y orificios	$\left(\frac{1}{C_d} - 1\right) \frac{V_2^2}{2g}$
6 - Contracción brusca	$K_c \frac{V_1^2}{2g}$
7 - Codos, accesorios, válvulas Algunos valores corrientes de K son: - 45º codo0,35 a 0,45 - 90º codo0,50 a 0,75 - Tes1,50 a 2,00 - Válvulas de compuerta (abierta).... Aprox. 0,25 - Válvulas de control (abierta)..... Aprox. 3,0	$K \frac{V^2}{2g}$

Anexo 9 pérdidas de carga en accesorios



Anexo 10 Rugosidades

Tipo de singularidad	K
Válvula de compuerta totalmente abierta	0,2
Válvula de compuerta mitad abierta	5,6
Curva de 90°	1,0
Curva de 45°	0,4
Válvula de pie	2,5
Emboque (entrada en una tubería)	0,5
Salida de una tubería	1,0
Ensanchamiento brusco	$(1-(D_1/D_2))^2$
Reducción brusca de sección (Contracción)	$0,5(1-(D_1/D_2))^2$

Anexo 11 Propiedades, esfuerzos de aceros estructurales

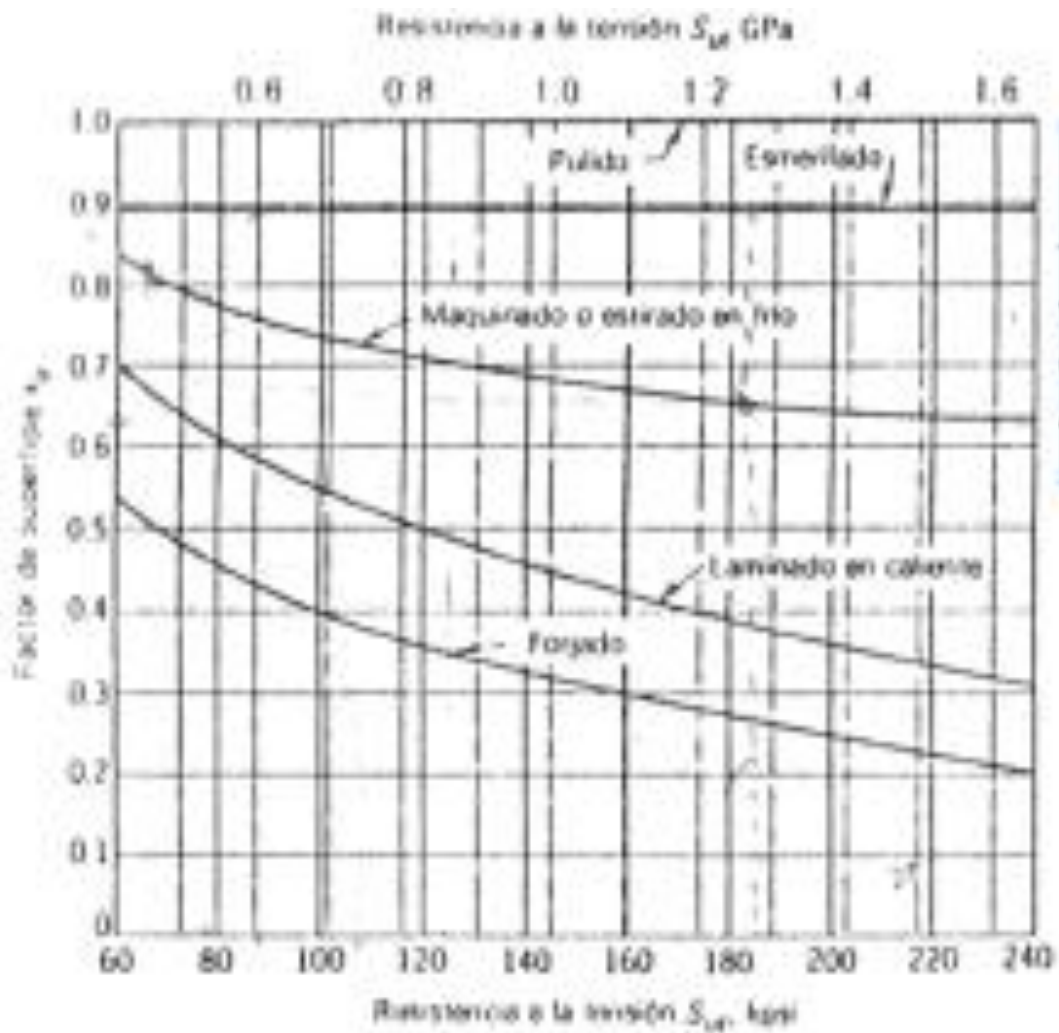
Nomenclatura		F_y ⁽³⁾		F_u ⁽⁴⁾	
NMX ¹	ASTM ²	MPa	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²
B-254	A36	250	2 530	400 a	4 080 a
				550	5 620
B-99	A529	290	2 950	414 a	4 220 a
				585	5 975
B-282	A242	290	2 950	435	4 430
				480	4 710
				485	4 920
B-284	A572	290	2 950	414	4 220
				345	3 515
				450	4 570
				515	5 270
	A992	345	3 515	450 a	4 570 a
				620	6 330
B-177	A53	240	2 480	414	4 220
B-199	A500 ⁽⁵⁾	320	3 235	430	4 360
B-200	A501	250	2 530	400	4 080
	A588	345 ⁽⁶⁾	3 515 ⁽⁶⁾	483 ⁽⁶⁾	4 920 ⁽⁶⁾
	A913	345 a	3 515 a	448 a	4 570 a
		493 ⁽⁷⁾	4 920 ⁽⁷⁾	620 ⁽⁷⁾	6 330 ⁽⁷⁾

Anexo 12 Coeficientes de pérdidas para tubos

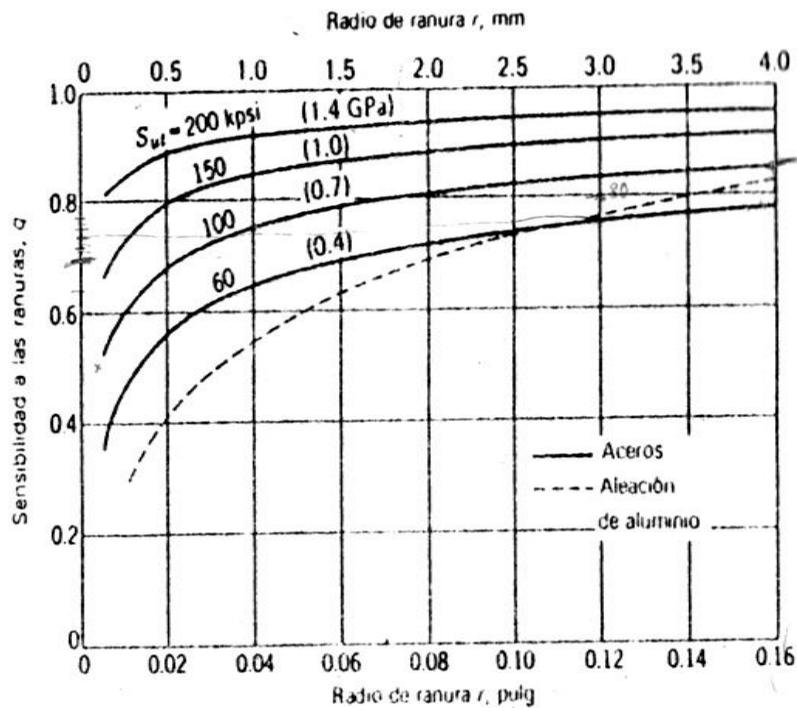
TUBOS ESTRUCTURALES REDONDOS				
				
DIMENSIONES		ESPESOR	PESO	ESPECIFICACIONES GENERALES:
DIÁMETRO EXTERIOR		e	P	
Pulg	mm	mm	Kg/6m	
1/2"	12.70	1.50	3.18	Largo Standard: 6 metros
5/8"	15.88	1.50	3.54	Recubrimientos: Negro y Galvanizado
3/4"	19.05	1.50	4.20	Dimensiones: 1x1/2 a 2X1"
		2.00	5.04	Espesores: De 0.75 a 1.1mm
7/8"	22.22	1.50	4.92	Calidad del Acero: ASTM A-36
		2.00	6.00	Observaciones: Otros largos y dimensiones previa consulta
1"	25.40	1.50	5.64	APLICACIONES:
		2.00	6.90	Estructuras para Invernaderos
1 1/4"	31.75	1.50	7.08	Cerramientos
		2.00	8.82	Cubiertas especiales
1 1/2"	38.10	1.50	8.46	Escapes automóviles
		2.00	10.68	Guarda choques - Mataburros
1 3/4"	44.45	1.50	9.84	Manijas para Carretillas
		2.00	12.54	Juegos infantiles en plazas y parques
1 7/8"	47.63	1.50	10.26	Canchas deportivas (arcos de fútbol, postes, voley ball)
		2.00	13.50	Estructuras para letreros
2"	50.80	1.50	10.80	Pasamanos
		2.00	14.46	Máquinas para gimnasio
		3.00	21.24	Fabricación de Andamios
2 1/2"	63.50	1.50	14.04	Asientos para Vehículos
		2.00	18.18	Estructuras auto soportantes para techos
		3.00	26.88	
3"	76.20	2.00	21.96	
		3.00	32.52	

Anexo 15 Factor de acabado superficial (k_a)

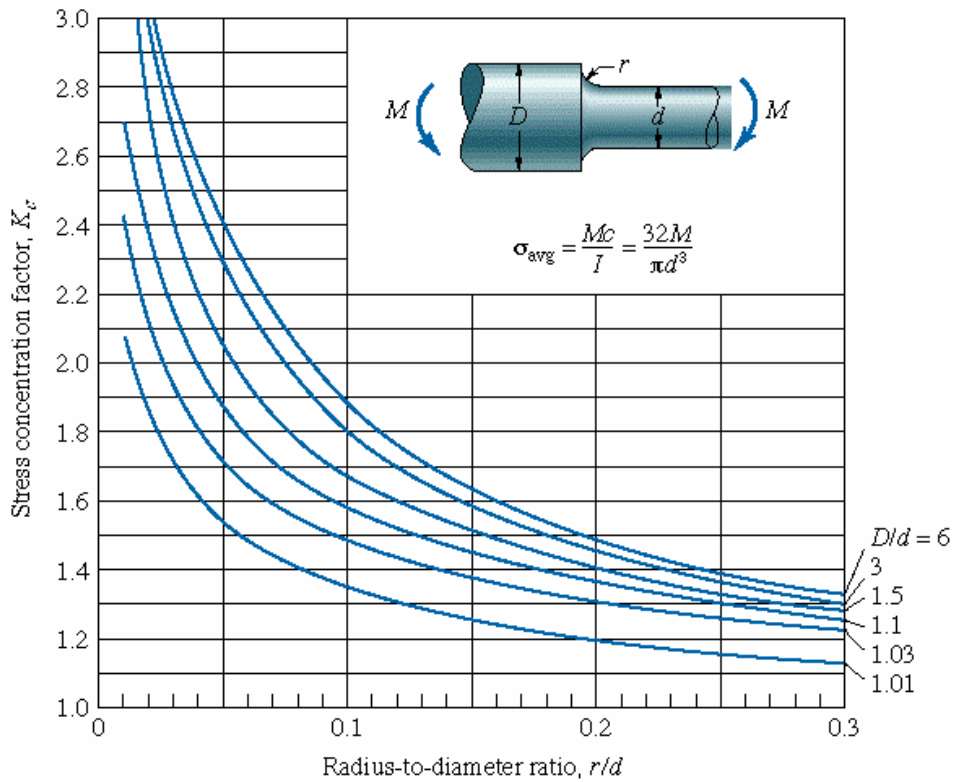
Acabado de Superficie	Factor a		Exponente b
	kpsi	MPa	
Esmerilado (rectificado)	1.34	1.58	-0.086
Maquinado o laminado en frío	2.67	4.45	-0.265
Laminado en caliente	14.5	56.1	-0.719
Forjado	39.8	271	-0.995



Anexo 16 Diagrama de sensibilidad a las ranuras (q) para aceros.



Anexo 17 Factor de concentración de esfuerzos (kt)



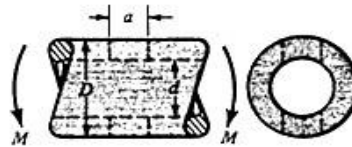
Anexo 18 Factor de concentración de esfuerzos (Kt)

Factores de concentración de esfuerzo K_t aproximados para barra o tubo circular con agujero transversal, sometidos a flexión.

[El esfuerzo nominal por flexión es $\sigma_0 = M/Z_{net}$, donde Z_{net} es un valor reducido del módulo de sección, que se define por

$$Z_{net} = \frac{\pi A}{32D} (D^4 - d^4)$$

Los valores de A se dan en la tabla. Utilícese $d = 0$ en el caso de una barra maciza.]



a/D	d/D					
	0.9		0.6		0	
	A	K_t	A	K_t	A	K_t
0.050	0.92	2.63	0.91	2.55	0.88	2.42
0.075	0.89	2.55	0.88	2.43	0.86	2.35
0.10	0.86	2.49	0.85	2.36	0.83	2.27
0.125	0.82	2.41	0.82	2.32	0.80	2.20
0.15	0.79	2.39	0.79	2.29	0.76	2.15
0.175	0.76	2.38	0.75	2.26	0.72	2.10
0.20	0.73	2.39	0.72	2.23	0.68	2.07
0.225	0.69	2.40	0.68	2.21	0.65	2.04
0.25	0.67	2.42	0.64	2.18	0.61	2.00
0.275	0.66	2.48	0.61	2.16	0.58	1.97
0.30	0.64	2.52	0.58	2.14	0.54	1.94

Anexo 19 Relaciones de dureza

RELACIONES DE DUREZA

Acero	Diámetro mm	Dureza Brinell	Propiedades mecánicas	
			Resistencia máxima	Tensión de fluencia
			kgf/mm ²	kgf/mm ²
SAE 1020	8 a 12	145 a 152	46 a 58	26 a 38
	16 a 19	142 a 147	45 a 57	25 a 37
	22 a 28	140 a 144	44 a 56	24 a 36
	31,8 a 38,1	134 a 138	43 a 55	23 a 35
SAE 1045	8 a 12	226 a 234	72 a 86	44 a 57
	16 a 19	224 a 230	71 a 85	43 a 56
	22 a 28	222 a 227	70 a 84	42 a 55
	31,8 a 38,1	218 a 224	68 a 83	40 a 54

Los valores de esta tabla, son sólo de referencia ya que corresponden a investigaciones internas y no deben constituir una garantía.

Anexos 13 Vida útil de diseño recomendado para rodamientos

<i>Uso</i>	<i>Vida útil de diseño</i> <i>L₁₀, h</i>
Aparatos domésticos	1 000–2 000
Motores para aviones	1 000–4 000
Automóvil	1 500–5 000
Equipo agrícola	3 000–6 000
Elevadores, ventiladores industriales, engranes de uso múltiple	8 000–15 000
Motores eléctricos, ventiladores industriales con tolva, máquinas industriales en general	20 000–30 000
Bombas y compresoras	40 000–60 000
Equipo crítico en operación continua las 24 horas	100 000–200 000

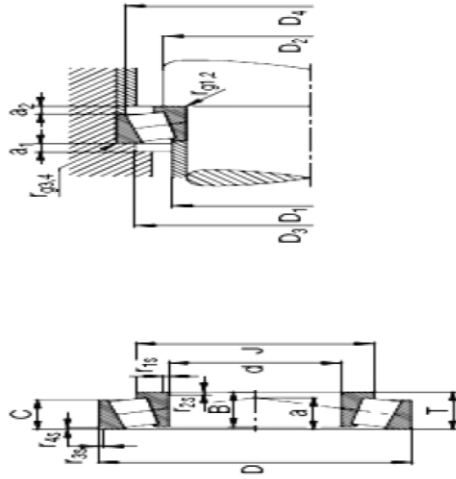
Anexo 20 Tipos y características de los rodamientos.

Tipos de rodamientos	Rodamientos rígidos de bolas	Rodamientos de bolas a contacto angular	Rodamientos de doble hilera de bolas a contacto angular	Rodamientos de bolas a contacto angular apertados	Rodamientos autoalineables de bolas	Rodamientos de rodillos cilíndricos	Rodamientos de rodillos cilíndricos de una sola pista	Rodamientos de rodillos cilíndricos de doble pista	Rodamientos de doble hilera de rodillos cilíndricos	Rodamientos de agujas
Características										
Capacidad de manejo de carga Carga radial Carga axial										
Alta velocidad*	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆	☆☆☆	☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆
Alta precisión rotacional*	☆☆☆	☆☆☆	☆☆	☆☆☆		☆☆☆	☆☆	☆	☆☆☆	
Bajo ruido/vibración*	☆☆☆☆	☆☆☆		☆☆		☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆
Bajo torque friccional*	☆☆☆☆	☆☆☆		☆☆	☆☆	☆☆				
Alta rigidez*			☆☆	☆☆		☆☆	☆☆	☆☆	☆☆☆	☆☆
Resistencia a los choques y vibración			☆☆		☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆
Desalineamiento permitido para anillos int. ext.	☆☆				☆☆☆	☆☆				
Fijo en la dirección axial	○	○	○	○ Permisión B y F	○		○	○		
Móvil en la dirección axial	○		○	○ Permisión B	○	○			○	○
Anillos interiores separables						○	○	○	○	○
Diámetro interior cónico en el anillo interior					○	○				
Comentarios		Para ángulos apertados				Tipo NU, N	Tipo NU, NF	Tipo NUP, NP, NH	Tipo NNU, NN	Tipo NA
Página de referencia	B-5	B-43	B-74	B-43	B-79	B-81	B-81	B-81	B-116	E-2
Tipos de rodamientos	Rodamientos de rodillos cilíndricos	Rodamientos de 2 y 4 hileras de rodillos cilíndricos	Rodamientos de rodillos esféricos	Rodamientos axiales de bolas	Rodamientos axiales de bolas a contacto ang.	Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos	Rodamientos axiales de rodillos esféricos	Página de referencia	Características	
									Características	
									Características	
									Características	
☆☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆☆	☆☆	☆☆☆	☆☆☆	A-56	Alta velocidad*	
☆☆☆	☆☆		☆☆	☆☆☆				A-51	Alta precisión rotacional*	
			☆☆						Bajo ruido/vibración*	
								A-57	Bajo torque friccional*	
☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆		☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	A-54	Alta rigidez*	
☆☆	☆☆☆	☆☆☆		☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	A-18	Resistencia a los choques y vibración	
☆☆		☆☆☆		☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	A-79	Desalineamiento permitido para anillos int. ext.	
○	○	○	○	○	○	○	○	A-13	Fijo en la dirección axial	
	○	○	○	○	○	○	○	A-19	Móvil en la dirección axial	
	○		○	○	○	○	○		Anillos interiores separables	
		○						A-19	Diámetro interior cónico en el anillo interior	
Para ángulos apertados					Para ángulos apertados				Comentarios	
B-133	B-133	B-233	B-269	B-259	E-46	B-259			Página de referencia	

Anexo 21 Rodamientos FAG

Rodamientos FAG de rodillos cónicos

Los rodamientos pueden alcanzar una duración de vida ilimitada si $C_0/P_0 \geq S_0$, ver Pág. 41.



Eje	Dimensiones		Peso		Capacidad de carga		Velocidad límite		Denominación abreviada		Medidas auxiliares															
	D	B	C	T	r_{10}/r_{15}	f_{30}/f_{35}	f_{34}/f_{35}	a	J	ϵ	Y	C_0	Y_0	Velocidad límite	denominación	D_1	D_2	D_3	a_1	a_2	f_{gr1}	f_{gr2}				
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm				
35	60	21	18	22,75	2	1,5	1,6	55,2	0,573	73,5	0,31	1,9	76,5	1,05	6700	30307A	12FE035	45	44	70	71	74	3	4,5	2	1,5
35	80	21	15	22,75	2	1,5	26	59,9	0,592	60	0,83	0,73	65,5	0,4	9000	31307A	17FE035	44	44	62	71	76	4	7,5	2	1,5
35	80	31	25	32,75	2	1,5	20	55,2	0,741	100	0,31	1,9	114	1,05	6000	32307A	12FE035	44	44	66	71	74	4	7,5	2	1,5
35	80	31	25	32,75	2	1,5	25	59,8	0,802	98,5	0,55	1,1	118	0,6	9000	32307B	15FE035	42	44	61	71	76	4	7,5	2	1,5
40	68	19	14,5	19	1	1	15	55	0,372	54	0,38	1,58	71	0,87	10000	32088A	130C040	46	46	62	65	4	4,5	1	1	1
40	75	26	20,5	26	1,5	1,5	18	58,7	0,546	80	0,38	1,69	104	0,80	9000	33108	12CE040	47	47	65	68	71	4	5,5	1,5	1,5
40	80	18	16	19,75	1,5	1,5	17	58,4	0,42	62	0,37	1,6	68	0,80	9000	32088A	130B040	49	47	69	73	74	3	3,5	1,5	1,5
40	80	23	19	24,75	1,5	1,5	19	60	0,555	80	0,37	1,6	95	0,80	9000	32088A	130C040	48	47	68	73	75	3	5,5	1,5	1,5
40	80	32	25	32	1,5	1,5	21	60,1	0,736	106	0,38	1,68	134	0,82	8500	33208	120E040	47	47	67	73	76	5	7	1,5	1,5

Anexos 22 Perfiles estructurales, ángulos

DIMENSIONES			PESO	PROPIEDADES						
B	B ₁	C		I _x	I _y	RESISTENCIA				F _u
mm	mm	mm	cm ⁴			cm ⁴	F _t	F _c	F _v	
20	20	2	0,38	0,73	0,28	0,20	0,62	0,59	0,79	0,37
		3	0,83	1,65	0,38	0,28	0,60	0,64	0,78	0,35
25	25	4	1,17	2,90	0,51	0,32	0,78	0,72	0,99	0,47
		5	1,70	4,80	0,74	0,40	0,75	0,77	0,98	0,43
30	30	2	0,80	1,13	0,30	0,26	0,54	0,54	1,00	0,57
		3	1,30	1,65	1,41	0,67	0,92	0,89	1,18	0,52
		4	1,68	2,14	1,76	0,85	0,91	0,94	1,17	0,58
40	40	2	1,20	1,64	3,41	0,81	1,06	1,09	1,61	0,77
		3	1,77	2,25	3,60	1,21	1,35	1,14	1,59	0,76
		4	2,31	2,84	4,46	1,58	1,25	1,19	1,58	0,74
		5	2,82	3,59	6,21	1,92	1,32	1,21	1,56	0,72
		6	3,30	4,31	6,87	2,23	1,20	1,20	1,55	0,69
50	50	2	1,52	1,93	4,85	1,35	1,59	1,34	2,01	0,98
		3	2,24	2,85	2,03	1,95	1,57	1,59	2,08	0,96
		4	2,83	3,74	9,04	2,54	1,56	1,34	1,99	0,94
		5	3,60	4,59	10,90	3,10	1,54	1,43	1,97	0,92
		6	4,25	5,41	12,00	3,02	1,52	1,50	1,96	0,90
		7	4,87	6,21	13,00	3,00	1,50	1,50	1,95	0,89
60	60	3	2,71	3,46	12,98	2,41	1,89	1,64	2,42	1,16
		4	3,46	4,58	16,00	3,71	1,88	1,69	2,41	1,17
		5	4,20	5,69	19,40	4,35	1,86	1,73	2,40	1,15
		6	5,19	6,90	23,60	5,35	1,85	1,78	2,38	1,13
65	65	3	2,95	3,75	15,60	3,21	2,05	1,76	2,61	1,27
		4	3,68	4,94	20,50	4,36	2,01	1,81	2,60	1,26
		5	4,28	6,09	25,90	6,36	2,03	1,86	2,50	1,23
		6	5,06	7,21	29,10	6,34	2,01	1,90	2,57	1,21
80	80	4	4,82	6,19	39,10	6,72	2,32	2,18	3,21	1,50
		5	5,90	7,89	47,80	8,29	2,31	2,23	3,20	1,54
		6	7,07	9,01	56,10	9,80	2,49	2,29	3,18	1,52
100	100	4	6,07	7,74	77,80	10,60	2,17	2,68	3,03	1,80
		5	7,55	9,58	91,00	29,90	2,16	2,73	4,01	1,91
		6	8,98	11,40	113,00	19,60	2,14	2,78	4,00	1,93

Anexo 23.- Coeficiente de longitud efectiva K

Deformada de la Columna						
Valor Teórico "K"	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valor de "K" recomendado	0.65	0.80	1.20	1.0	2.10	2.0
Condición Apoyo Final		Rotación Fija		Traslación Libre		
		Rotación Fija		Traslación Fija		
		Rotación Libre		Traslación Fija		
		Rotación Libre		Traslación Libre		

Anexo 24 alfabeto griego

Tabla A-27 ALFABETO GRIEGO

Alfa	A	α		Nu (o ni)	N	ν
Beta	B	β		Xi	Ξ	ξ
Gama	Γ	γ		Omicron	O	o
Delta	Δ	δ	∂	Pi	Π	π
Epsilon	E	ϵ	ε	Ro	P	ρ
Zeta	Z	ζ		Sigma	Σ	σ
Eta	H	η		Tau	T	τ
Teta	Θ	θ	ϑ	Ipsilon	Υ	
Iota	I	ι		Fi	Φ	ϕ
Kapa	K	κ	χ	Ki (o ji)	X	χ
Lambda	Λ	λ		Psi	Ψ	ψ
Mu (o mi)	M	μ		Omega	Ω	ω

Anexo 25 Esfuerzos Permisibles

F_y = 36 ksi

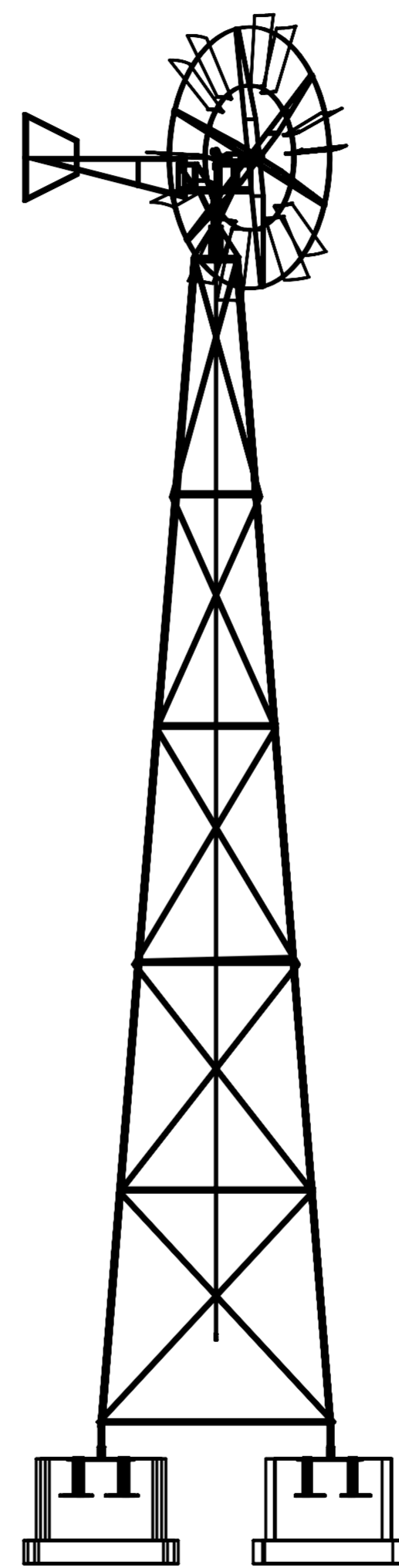
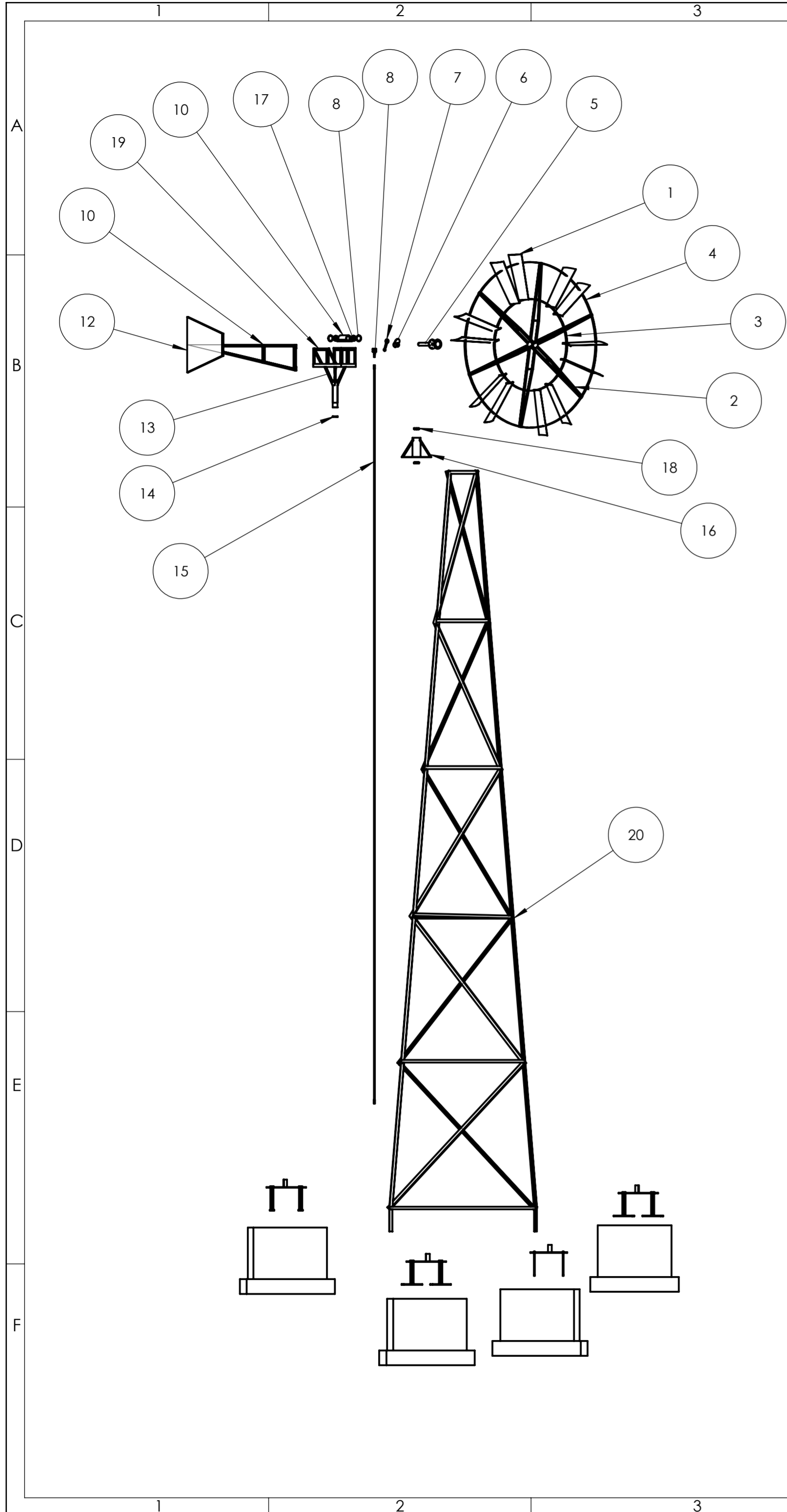
Main and Secondary Members <i>Kl/r</i> not over 120						Main Members <i>Kl/r</i> 121 to 200				Secondary Members* <i>l/r</i> 121 to 200			
$\frac{Kl}{r}$	F _a (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	F _a (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	F _a (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	F _a (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	F _a (ksi)	$\frac{l}{r}$	F _{as} (ksi)	$\frac{l}{r}$	F _{as} (ksi)
1	21.56	41	19.11	81	15.24	121	10.14	161	5.76	121	10.19	161	7.25
2	21.52	42	19.03	82	15.13	122	9.99	162	5.69	122	10.09	162	7.20
3	21.48	43	18.95	83	15.02	123	9.85	163	5.62	123	10.00	163	7.16
4	21.44	44	18.86	84	14.90	124	9.70	164	5.55	124	9.90	164	7.12
5	21.39	45	18.78	85	14.79	125	9.55	165	5.49	125	9.80	165	7.08
6	21.35	46	18.70	86	14.67	126	9.41	166	5.42	126	9.70	166	7.04
7	21.30	47	18.61	87	14.56	127	9.26	167	5.35	127	9.59	167	7.00
8	21.25	48	18.53	88	14.44	128	9.11	168	5.29	128	9.49	168	6.96
9	21.21	49	18.44	89	14.32	129	8.97	169	5.23	129	9.40	169	6.93
10	21.16	50	18.35	90	14.20	130	8.84	170	5.17	130	9.30	170	6.89
11	21.10	51	18.26	91	14.09	131	8.70	171	5.11	131	9.21	171	6.85
12	21.05	52	18.17	92	13.97	132	8.57	172	5.05	132	9.12	172	6.82
13	21.00	53	18.08	93	13.84	133	8.44	173	4.99	133	9.03	173	6.79
14	20.95	54	17.99	94	13.72	134	8.32	174	4.93	134	8.94	174	6.76
15	20.89	55	17.90	95	13.60	135	8.19	175	4.88	135	8.86	175	6.73
16	20.83	56	17.81	96	13.48	136	8.07	176	4.82	136	8.78	176	6.70
17	20.78	57	17.71	97	13.35	137	7.96	177	4.77	137	8.70	177	6.67
18	20.72	58	17.62	98	13.23	138	7.84	178	4.71	138	8.62	178	6.64
19	20.66	59	17.53	99	13.10	139	7.73	179	4.66	139	8.54	179	6.61
20	20.60	60	17.43	100	12.98	140	7.62	180	4.61	140	8.47	180	6.58
21	20.54	61	17.33	101	12.85	141	7.51	181	4.56	141	8.39	181	6.56
22	20.48	62	17.24	102	12.72	142	7.41	182	4.51	142	8.32	182	6.53
23	20.41	63	17.14	103	12.59	143	7.30	183	4.46	143	8.25	183	6.51
24	20.35	64	17.04	104	12.47	144	7.20	184	4.41	144	8.18	184	6.49
25	20.28	65	16.94	105	12.33	145	7.10	185	4.36	145	8.12	185	6.46
26	20.22	66	16.84	106	12.20	146	7.01	186	4.32	146	8.05	186	6.44
27	20.15	67	16.74	107	12.07	147	6.91	187	4.27	147	7.99	187	6.42
28	20.08	68	16.64	108	11.94	148	6.82	188	4.23	148	7.93	188	6.40
29	20.01	69	16.53	109	11.81	149	6.73	189	4.18	149	7.87	189	6.38
30	19.94	70	16.43	110	11.67	150	6.64	190	4.14	150	7.81	190	6.36
31	19.87	71	16.33	111	11.54	151	6.55	191	4.09	151	7.75	191	6.35
32	19.80	72	16.22	112	11.40	152	6.46	192	4.05	152	7.69	192	6.33
33	19.73	73	16.12	113	11.26	153	6.38	193	4.01	153	7.64	193	6.31
34	19.65	74	16.01	114	11.13	154	6.30	194	3.97	154	7.59	194	6.30
35	19.58	75	15.90	115	10.99	155	6.22	195	3.93	155	7.53	195	6.28
36	19.50	76	15.79	116	10.85	156	6.14	196	3.89	156	7.48	196	6.27
37	19.42	77	15.69	117	10.71	157	6.06	197	3.85	157	7.43	197	6.26
38	19.35	78	15.58	118	10.57	158	5.98	198	3.81	158	7.39	198	6.24
39	19.27	79	15.47	119	10.43	159	5.91	199	3.77	159	7.34	199	6.23
40	19.19	80	15.36	120	10.28	160	5.83	200	3.73	160	7.29	200	6.22

Anexo 26.- Tamaño mínimo de soldadura para placa según el espesor

<i>Espesor de la placa (pulg)</i>	<i>Tamaño mínimo de lado para soldadura de chafán (pulg)</i>
$\leq 1/2$	$3/16$
$> 1/2 - 3/4$	$1/4$
$> 3/4 - 1 1/2$	$5/16$
$> 1 1/2 - 2 1/4$	$3/8$
$> 2 1/4 - 6$	$1/2$
> 6	$5/8$

Anexo 27.- Tensiones por esfuerzos de corte permisible y fuerza en soldadura

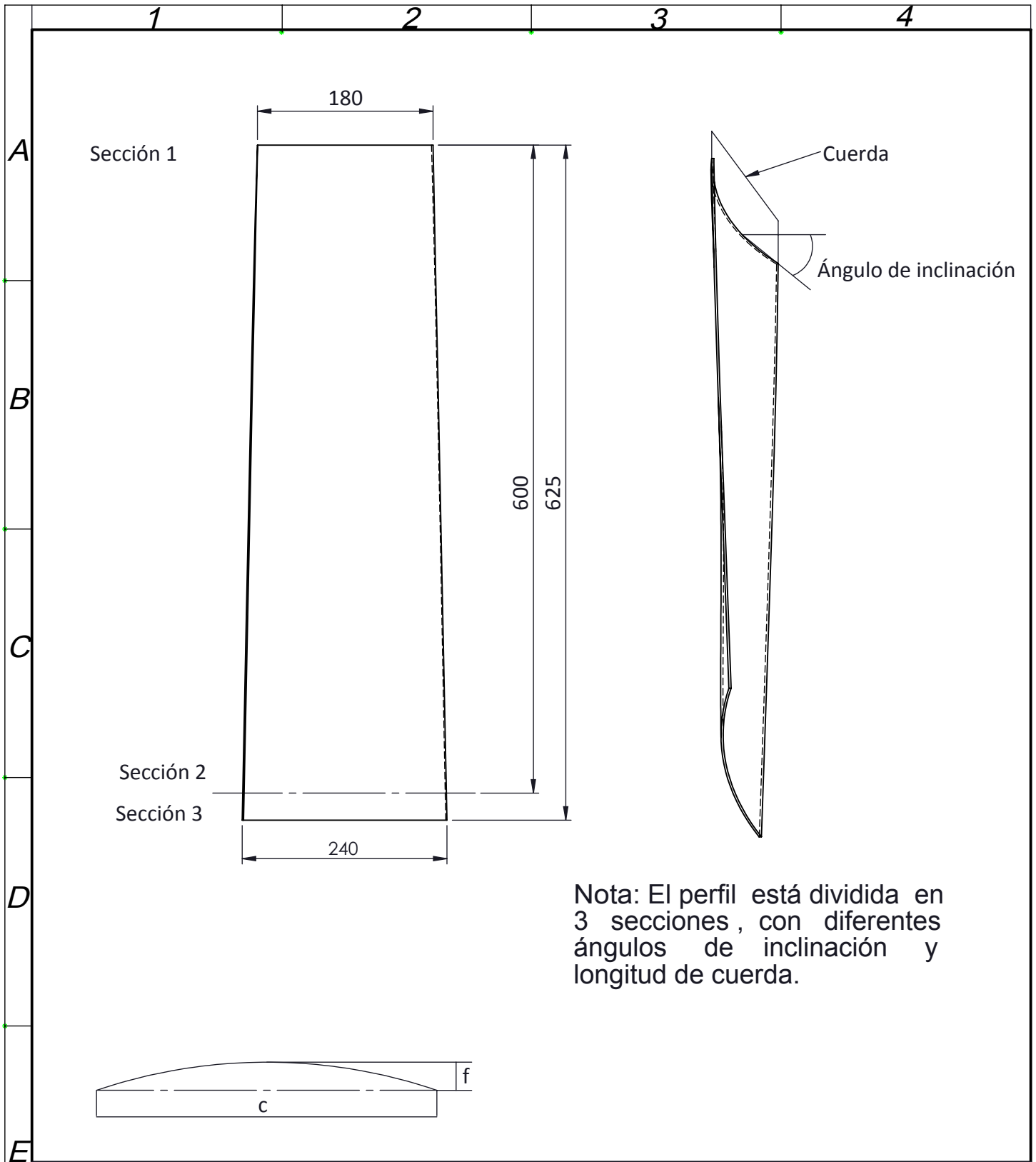
<i>Acero</i>		
<i>Tipo de electrodo</i>	<i>Metales típicos que se ensamblan (Grado ASTM)</i>	<i>Tensión por esfuerzo de corte permisible</i>
E60	A36, A500	18 Ksi (124 MPa)
E70	A242, A441	21 Ksi (145 MPa)
E80	A572 Grado 65	24 Ksi (165 MPa)
E90	—	27 Ksi (186 MPa)
E100	—	30 Ksi (207 MPa)
E110	—	33 Ksi (228 MPa)



DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA CONVERTOR DE ENERGÍA	
Velocidad para entrar a trabajar el sistema	= 6.1 m/s.
Caudal requerido (Qr)	= 12.6 m ³ /s ,tiempo de riego 3.42 Horas al día.
Potencia útil	= 175 W. Diámetro del rotor = 2.5 m .Área de barrido = 4.9 m.
La fuerza necesaria para el funcionamiento del sistema hidráulico	, Fmáx = 348.4 N.
Bomba de pistón de diámetro de 3 pulgadas y una altura de bombeo de 15m.	
Potencial eólico	= 805.8 W, Potencia aprovechada = 245.5 W.

Número	Descripción	Materiales	Cantidad
22	Bases para empotrar de la torre	Hormigon	4
21	Base para sujetar la torre	AISI 1010	4
20	Torre tipo celocia	ASTM A36	1
19	Placa base de rodamiento (A)	ASTM A36	1
18	Rodamiento (B) eje transmición	D= 100 ,d =65	2
17	Rodamiento (A) eje de rotor	D= 82, d =40	2
16	Soporte de tornamesa	ASTM A36,AISI 1010	1
15	Eje de transmición	AISI1020	1
14	Anillo de succión	ASTM A36	1
13	Tornamesa	ASTM A36	1
12	Placa guia	ASTM A36	1
11	Veleta	ASTM A36	1
10	Soporte de rodamiento	ASTM A36	2
9	Tapa rodamiento	ASTM A36	1
8	Componente biela 2	AISI 1020	1
7	Componente biela 1	AISI 1020	1
6	Manivela	ASTM A36	1
5	Eje del rotor	AISI 1010	1
4	Disco 2	ASTM A36	1
3	Disco 1	ASTM A36	1
2	Arcos	ASTM A36	6
1	Alabe	Acero galvanizado al cromo	12

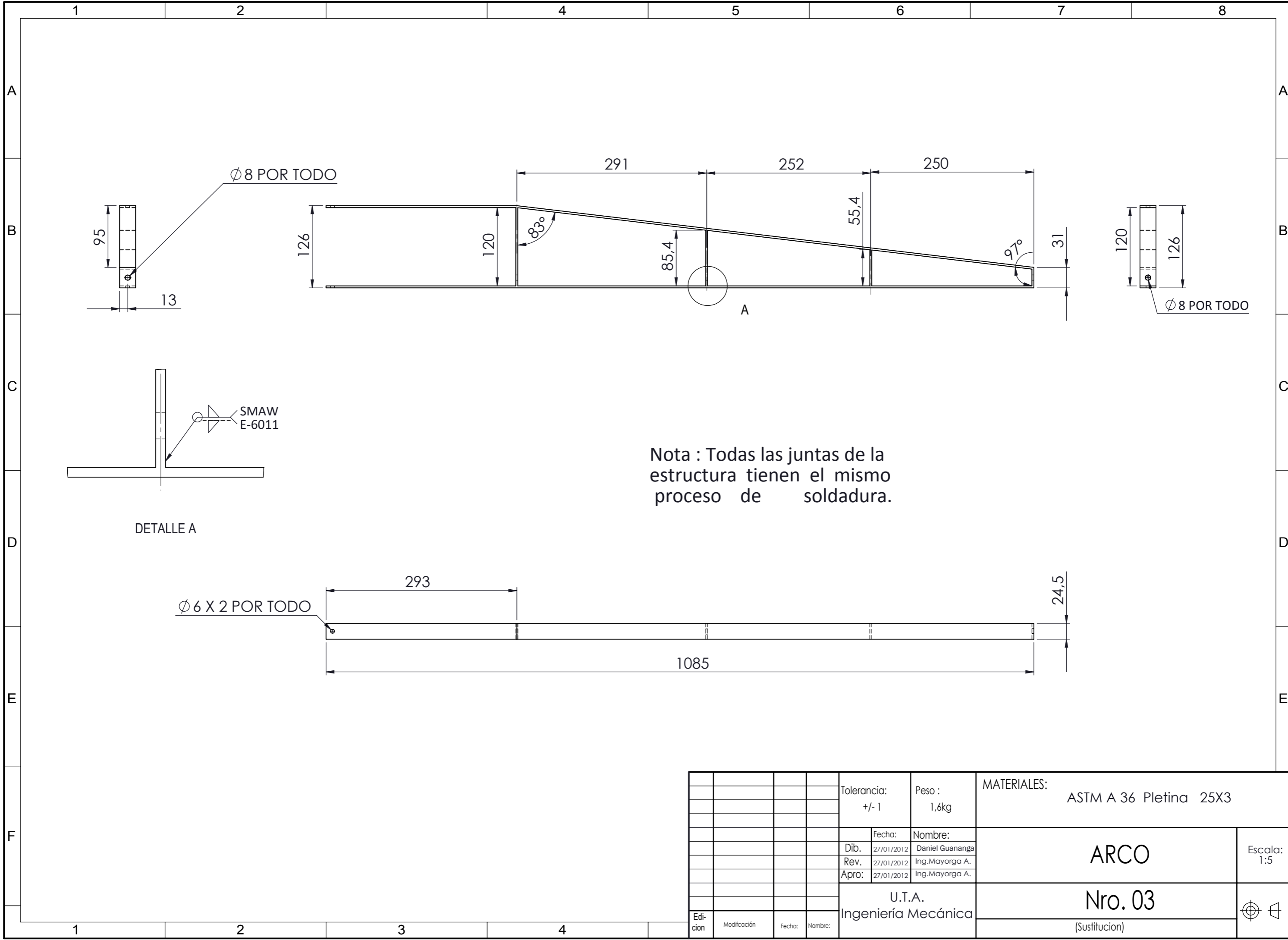
PESO:		TOLERANCIA:		MATERIAL:	
370 Kg		+/- 0.1		VARIOS	
Fecha		Nombre		TITULO:	
28/01 2013		Daniel Guananga		DESPIECE Y CONJUNTO ARMADO	
Rev.		Ing. Mayorga A.		Escala:	
28/01/2013		Ing. Mayorga A.		1:50	
Apro.		Ing. Mayorga A.			
28/01/2013		Ing. Mayorga A.			
Edición				Nro : 01	
Modificación				SUSTITUCIÓN:	
Fecha					
Nombre					
UTA					
INGENIERÍA MECÁNICA					



Nota: El perfil está dividida en 3 secciones, con diferentes ángulos de inclinación y longitud de cuerda.

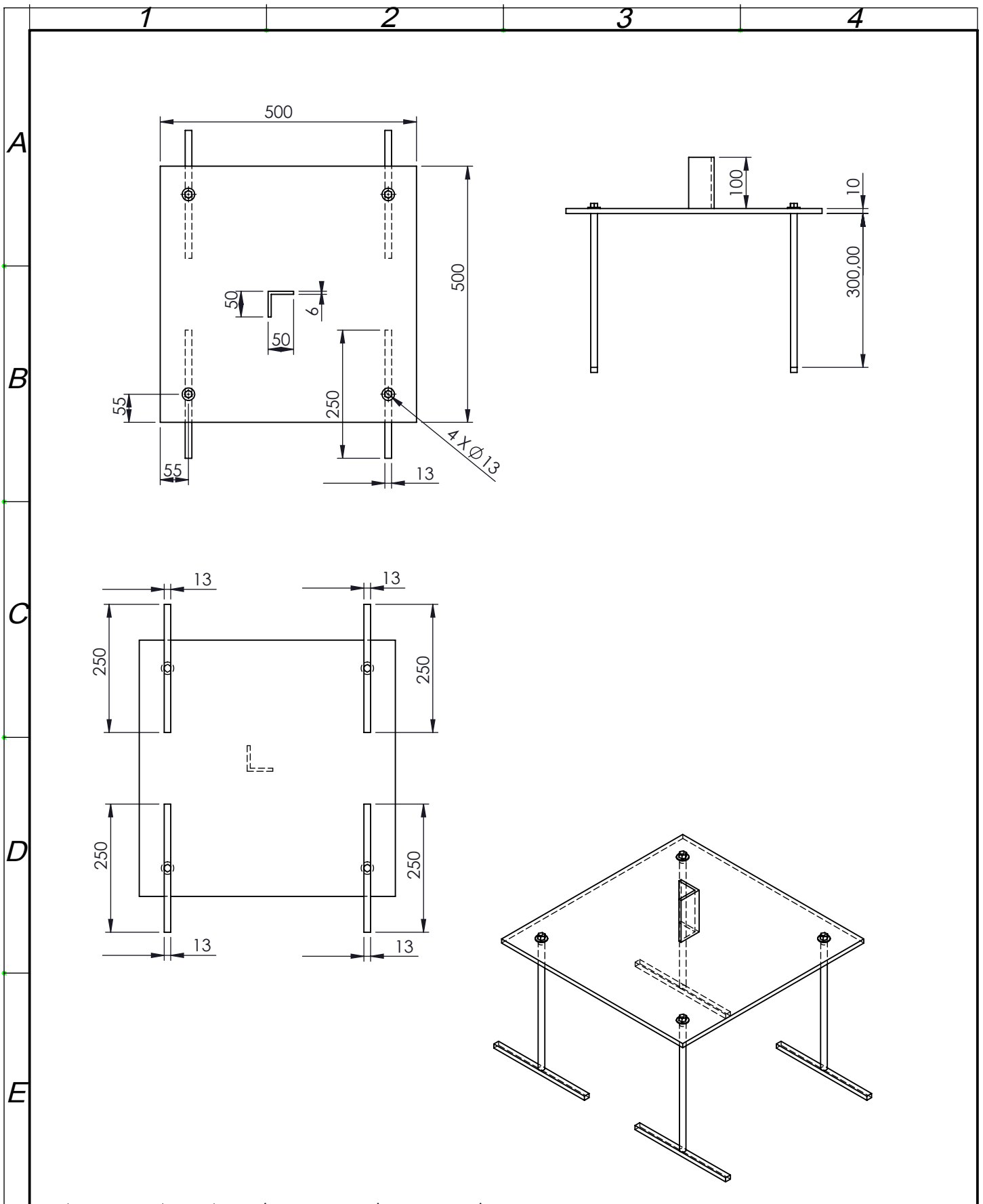
Sección	Cuerda	Ángulo de inclinación	f	f/c
3	240 mm	38	f = 16.8	0.07
2	190 mm	28	f = 16.8	0.07
1	180 mm	26	f = 16.8	0.07

				Tolerancia: +/- 0.1	Peso : 1.2 Kg	MATERIAL: Tol Galvanizado al cromo e =1.5	
				Fecha: 27/01/2012	Nombre: Daniel Guananga	ALABE Nro. 02 (Sustitucion)	
				Dib.	Ing. Mayorga A.		
				Rev.	Ing. Mayorga A.		
				Apro:	Ing. Mayorga A.	Escala: 1: 5 	
				U.T.A. Ingeniería Mecánica			
Eci- ción	Modificación	Fecha:	Nombre:				

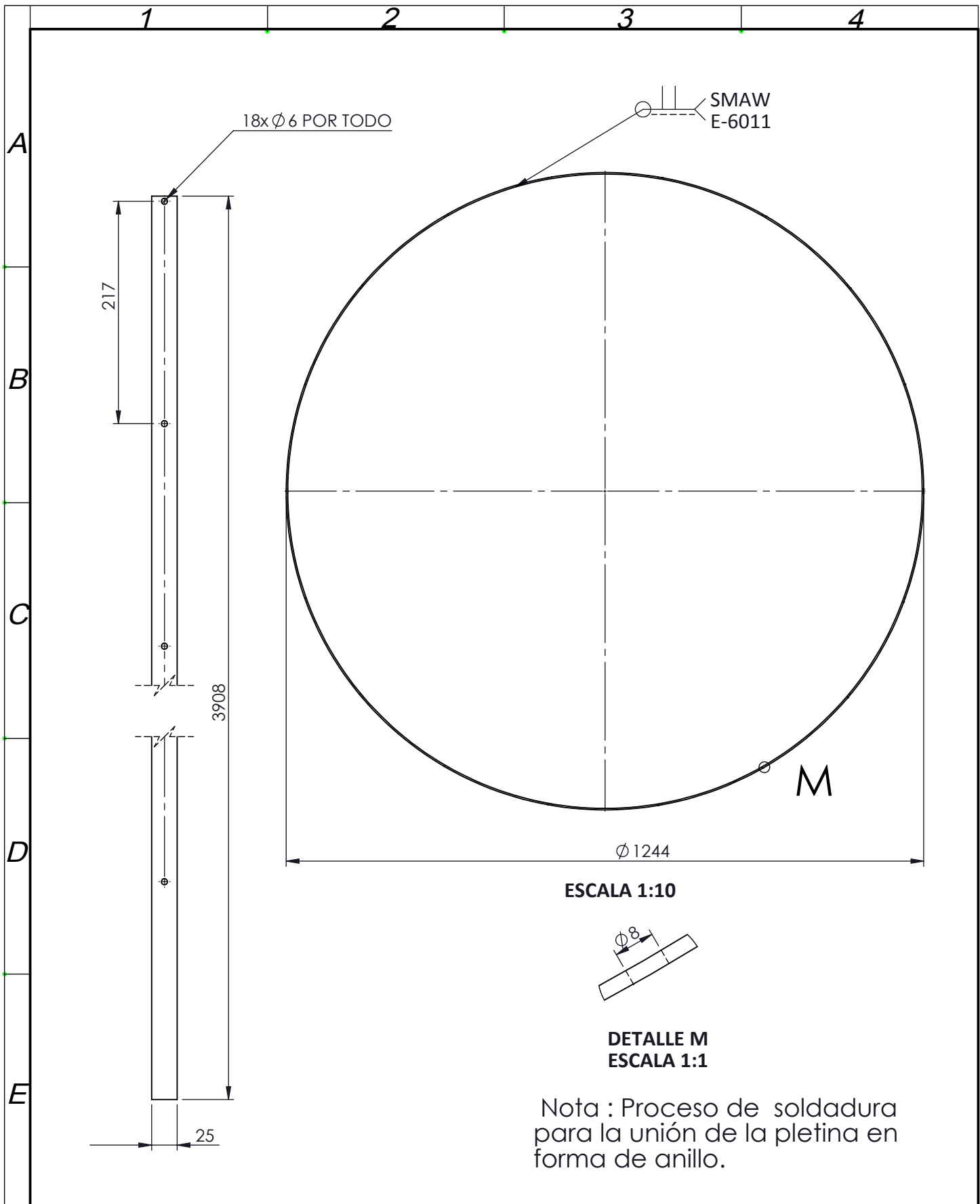


Nota : Todas las juntas de la estructura tienen el mismo proceso de soldadura.

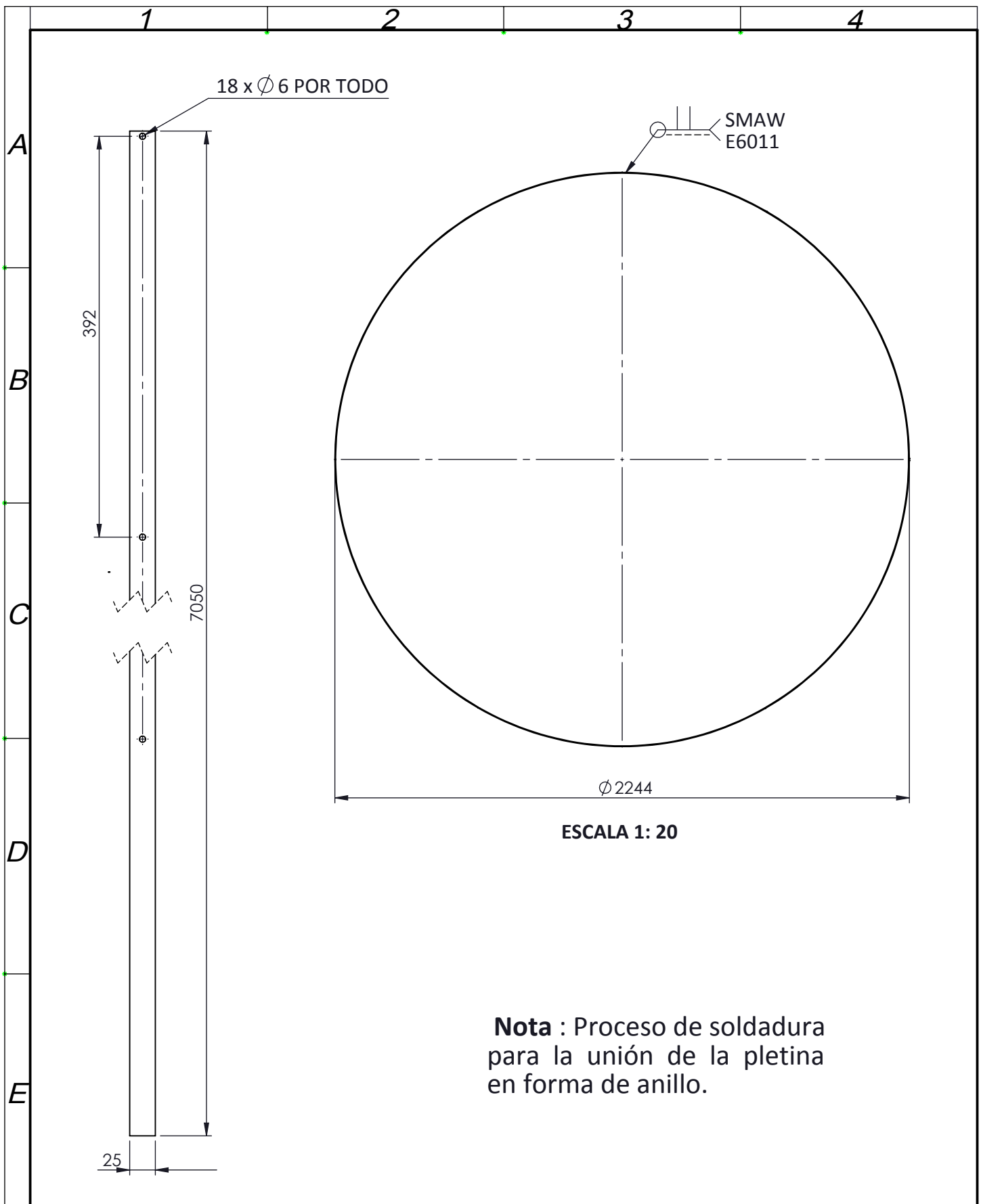
				Tolerancia: +/- 1	Peso: 1,6kg	MATERIALES: ASTM A 36 Pletina 25X3	
				Fecha: 27/01/2012	Nombre: Daniel Guananga	ARCO	
				Rev. 27/01/2012	Ing.Mayorga A.		
				Apro: 27/01/2012	Ing.Mayorga A.		
				U.T.A. Ingeniería Mecánica		Nro. 03	
Edi- ción	Modificación	Fecha:	Nombre:			(Sustitucion)	
						Escala: 1:5	



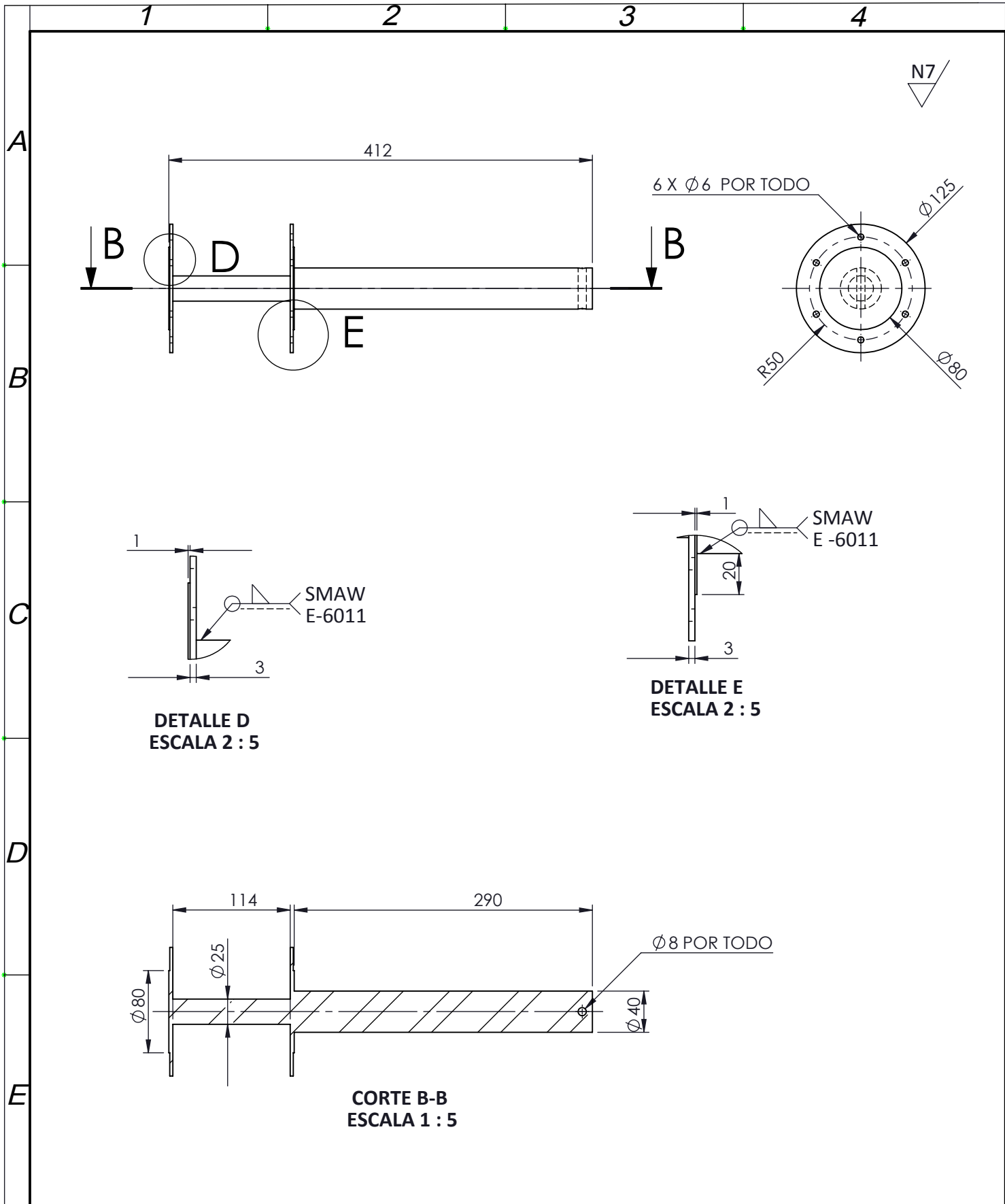
		Tolerancia: +/- 1		Peso : 4.1 Kg		MATERIAL: AISI 1010	
		Fecha: 28/01/2012		Nombre: Daniel Guananga		Base de sujeción entre la torre y la base de hormigon	
		Dib. 28/01/2012		Ing. Mayorga A.			
		Rev. 28/01/2012		Ing. Mayorga A.			
		Apro: 28/01/2012		Ing. Mayorga A.		Escala: 1:10	
		U.T.A.		Nro.04			
Edición		Ingeniería Mecánica		(Sustitucion)			
Modificación	Fecha:	Nombre:					



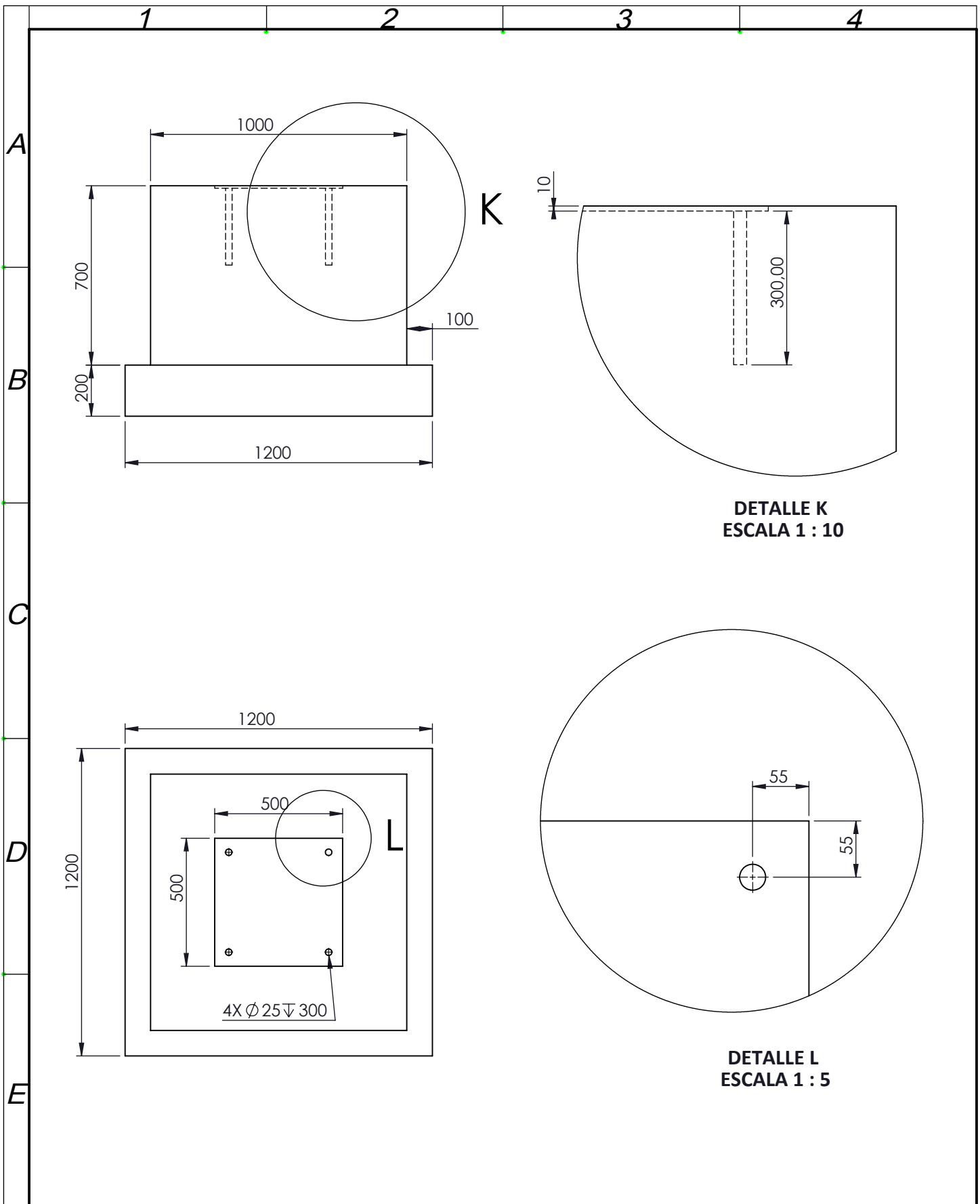
				Tolerancia: +/- 1	Peso : 1.3 Kg	MATERIAL: ASTM A36 Pletina 25 x 3	
					Fecha: 28/01/2012	Nombre: Daniel Guananga	ESCALA: 1:5
					Rev. 28/01/2012	Ing. Mayorga A.	
					Apro: 28/01/2012	Ing. Mayorga A.	
				U.T.A. Ingeniería Mecánica		Nro. 05 (Sustitucion)	
Edi- cion	Modifcacion	Fecha:	Nombre:				



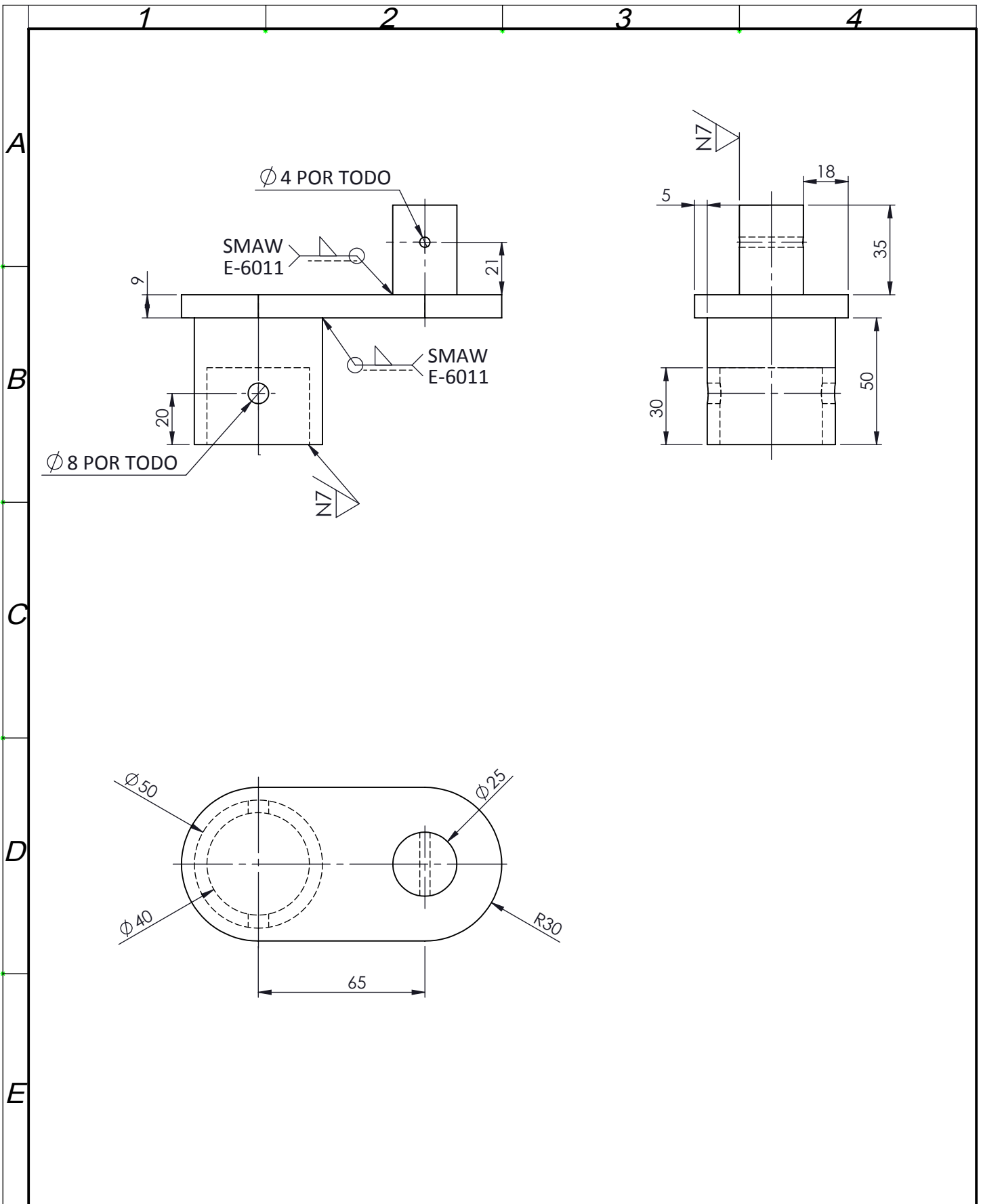
				Tolerancia: +/- 1	Peso : 2.3 Kg	MATERIAL: ASTM A 36 Pletina 25 X 3	
					Fecha: 28/01/2012	Nombre: Daniel Guananga	CERCO 2
					Rev. 28/01/2012	Ing.Mayorga A.	
					Apro: 28/01/2012	Ing.Mayorga A.	
				U.T.A. Ingeniería Mecánica		Nro. 06 (Sustitucion)	
Edi- ción	Modificación	Fecha:	Nombre:			Escala: 1: 5	



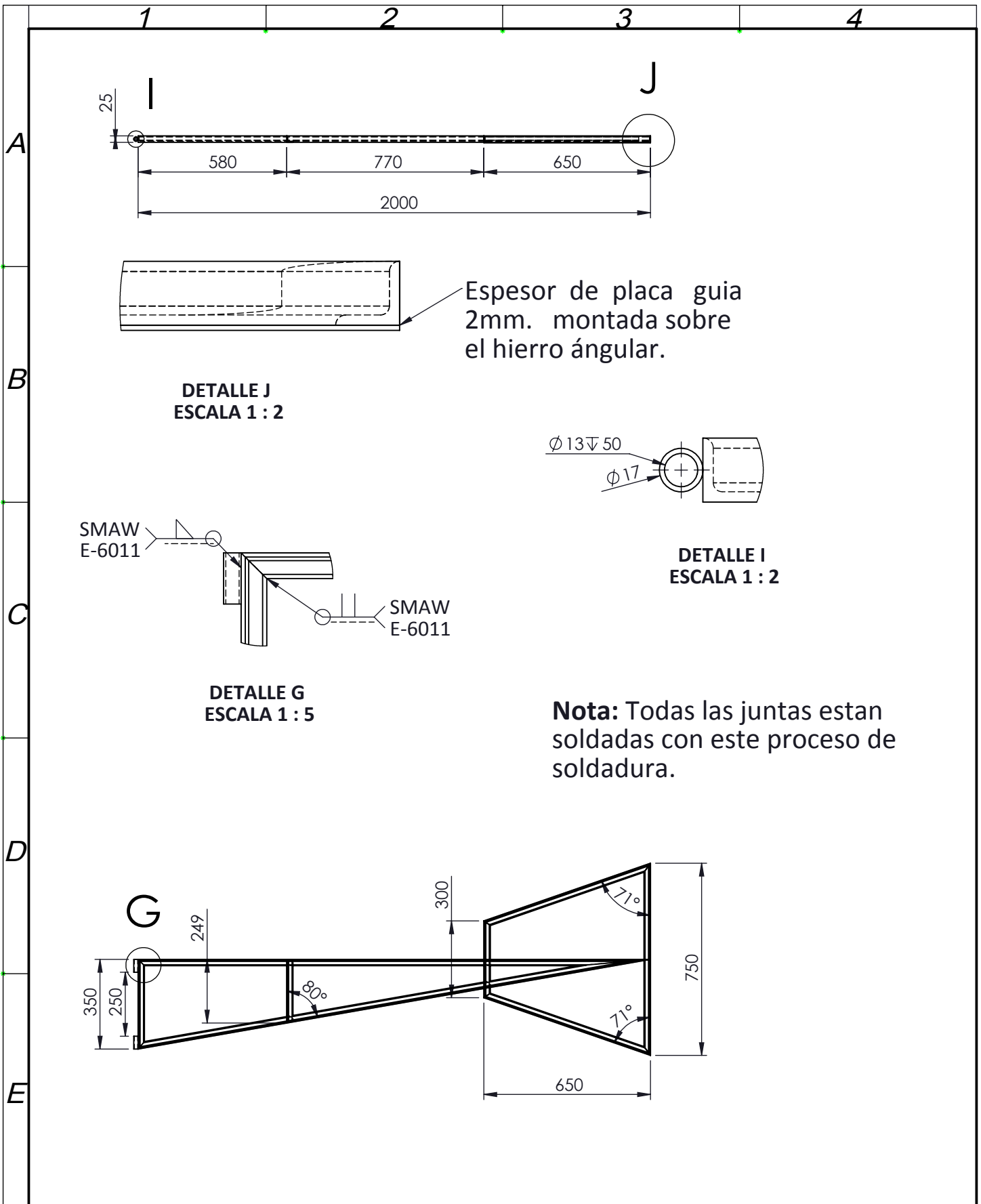
				Tolerancia: +/- 0.1	Peso : 3.93 Kg	MATERIAL: AISI 1010	
				Dib. 28/01/2013	Nombre: Daniel Guananga	EJE DE ROTOR	
				Rev. 28/01/2013	Ing. Mayorga A.		
				Apro: 28/01/2013	Ing. Mayorga A.		
				U.T.A. Ingeniería Mecánica		Nro. 07	
Edi- cion	Modifcacion	Fecha:	Nombre:			(Sustitucion)	
						Escala: 1: 5	



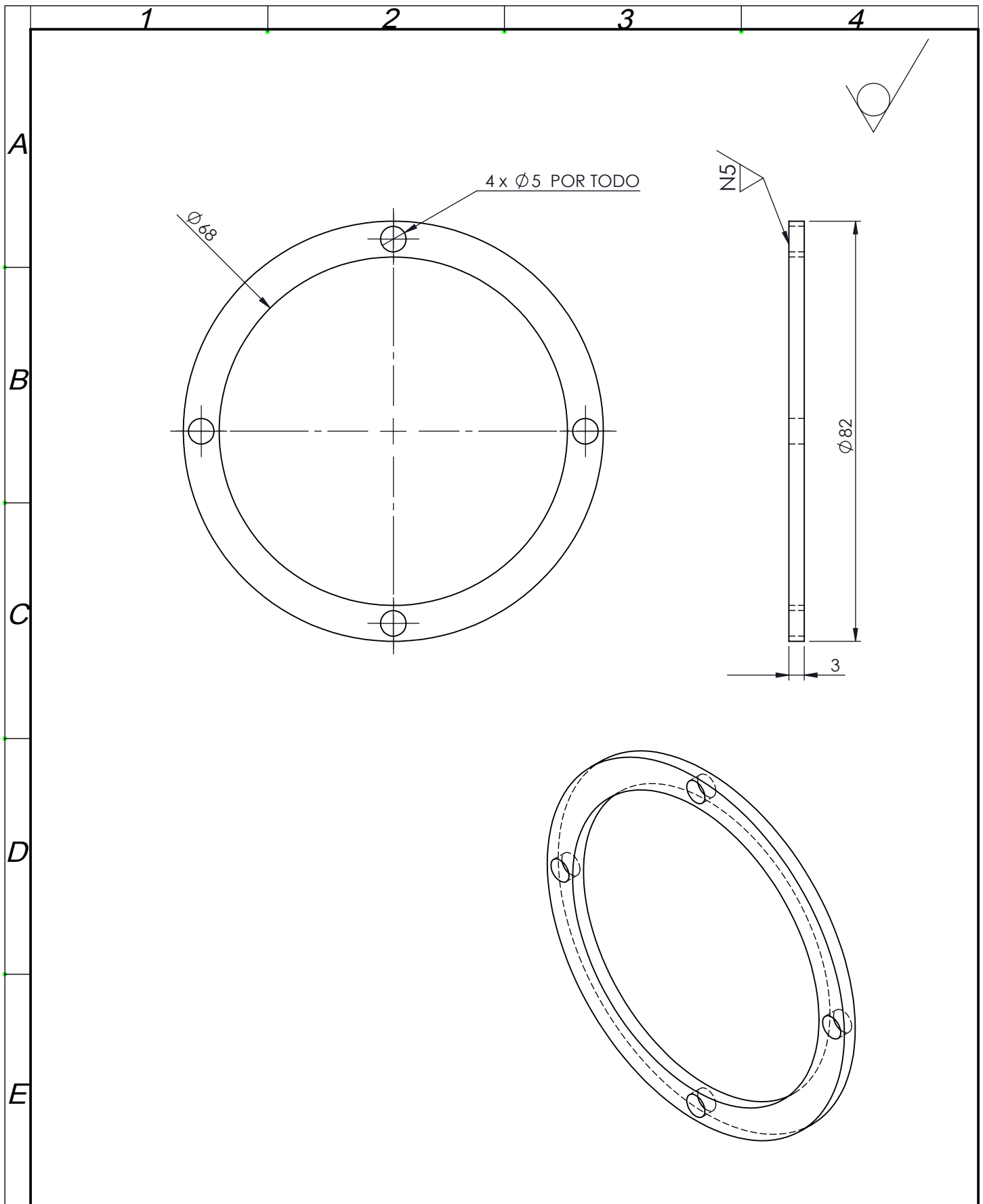
				Tolerancia: +/- 1	Peso : 40 Kg	MATERIAL: Hormigon	
				Dib.	Fecha: 28/01/2012	Nombre: Daniel Guananga	Base de hormigón
				Rev.	28/01/2012	Ing.Mayorga A.	
				Apro:	28/01/2012	Ing.Mayorga A.	
				U.T.A. Ingeniería Mecánica		Nro. 08 (Sustitucion)	Escala: 1:20
Edi- ción	Modifcación	Fecha:	Nombre:				



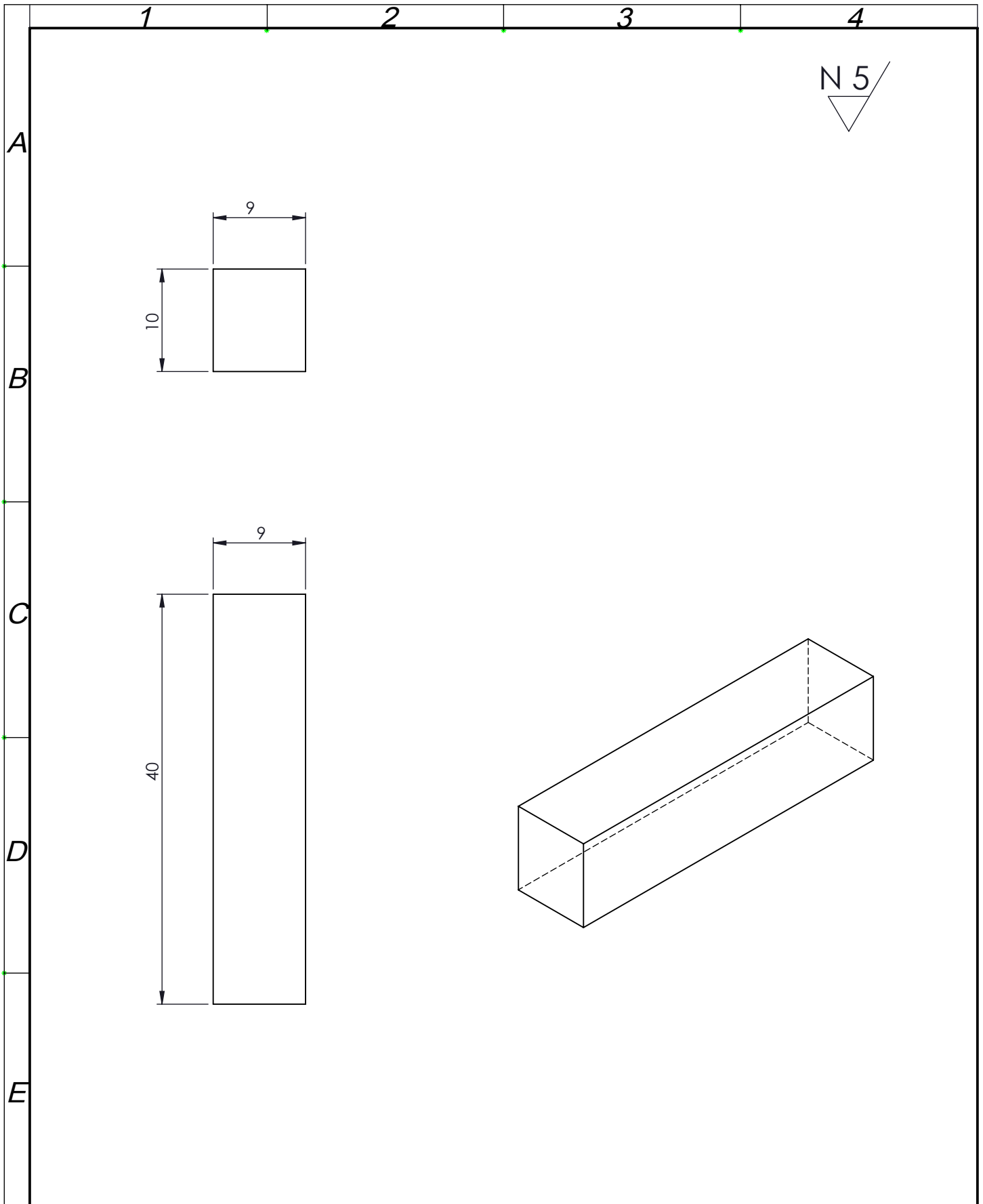
				Tolerancia: +/- 0.1	Peso : 1,1 Kg	MATERIAL: AIS1 1010		
				Fecha: 28/01/2012	Nombre: Daniel Guananga	MANIVELA		
				Rev. 28/01/2012	Ing.Mayorga A.			
				Apro: 28/01/2012	Ing.Mayorga A.			
				U.T.A. Ingeniería Mecánica		Nro. 09 (Sustitucion)		
Edición	Modificación	Fecha:	Nombre:					Escala: 1:2



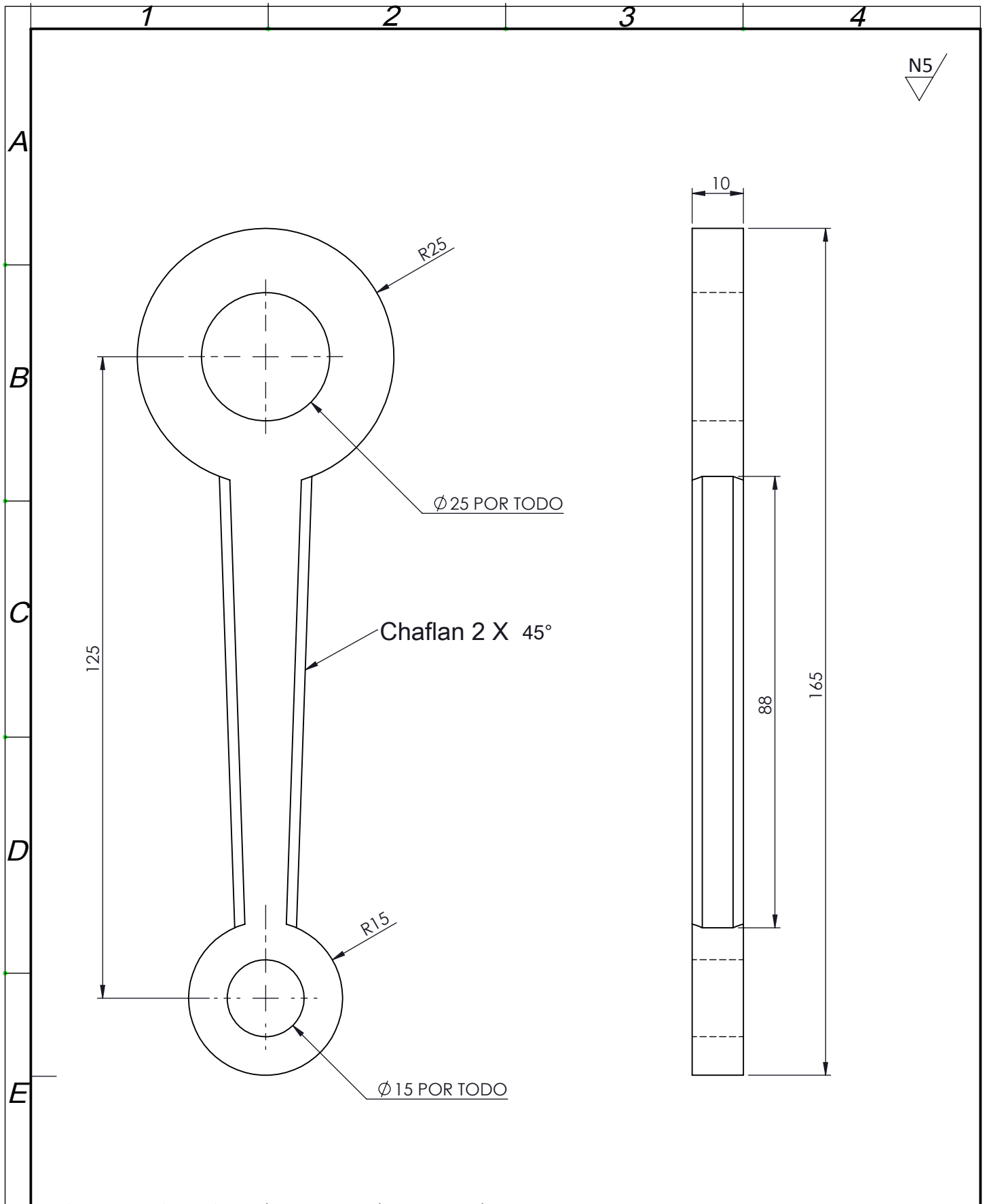
				Tolerancia: +/- 1	Peso : 15.3 Kg	MATERIAL: ASTM A36 L 25X25X3	
				Fecha: 28/01/2012	Nombre: Daniel Guananga	Veleta - Placa Guía	Escala: 1:20
				Rev. 28/01/2012	Ing.Mayorga A.		
				Apro: 28/01/2012	Ing.Mayorga A.		
				U.T.A. Ingeniería Mecánica		Nro. 10 (Sustitucion)	⊕ ⊞
Edi- ción	Modificación	Fecha:	Nombre:				



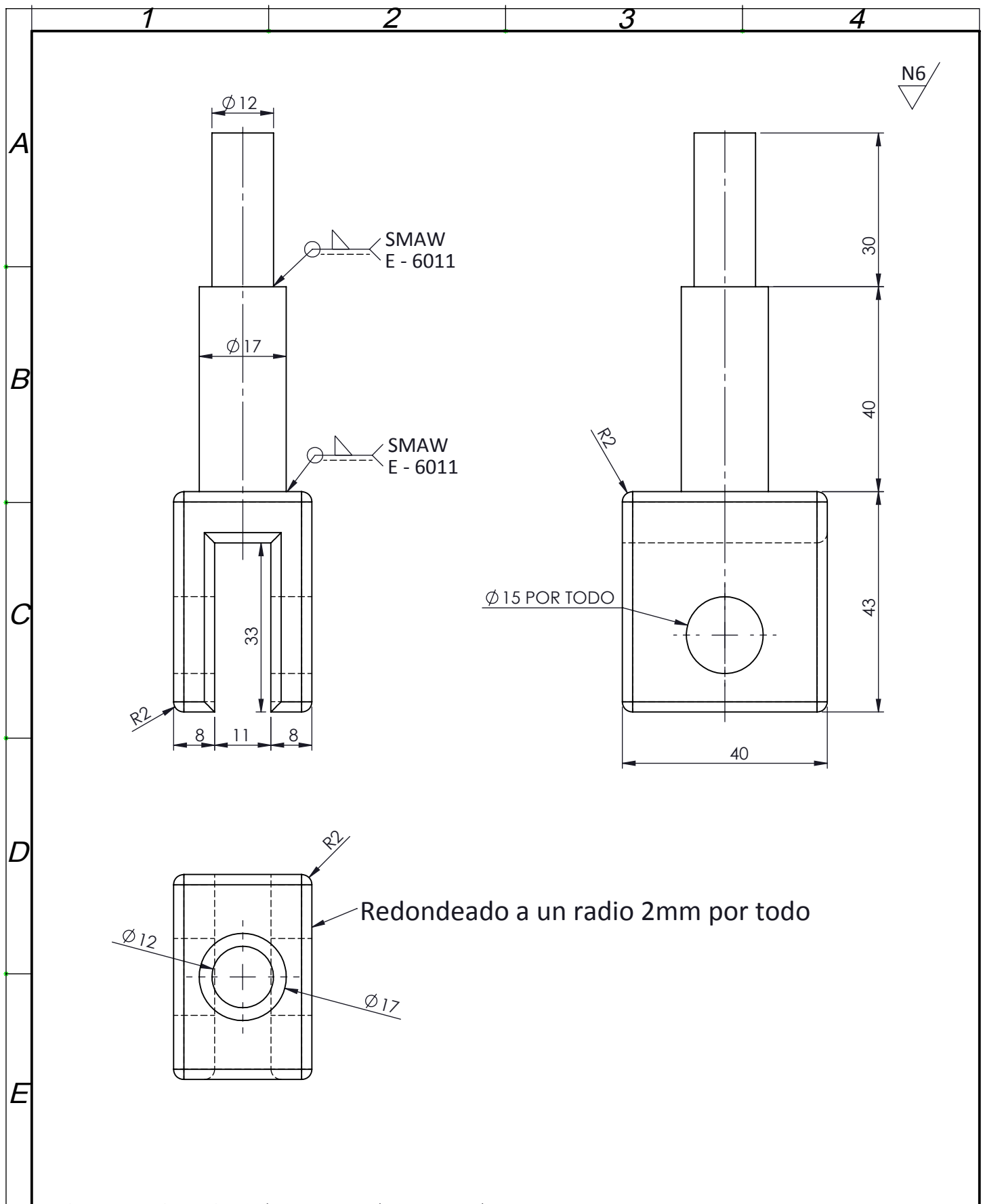
				Tolerancia: +/- 0.1	Peso : 0.36 Kg	MATERIAL: ASTM A36 Plancha e = 3	
				Dib.	Fecha: 28/01/2012	Nombre: Daniel Guananga	Escala: 1:1
				Rev.	28/01/2012	Ing. Mayorga A.	
				Apro:	28/01/2012	Ing. Mayorga A.	
				U.T.A. Ingeniería Mecánica		Nro. 11 (Sustitucion)	
Edi- ción	Modificación	Fecha:	Nombre:				



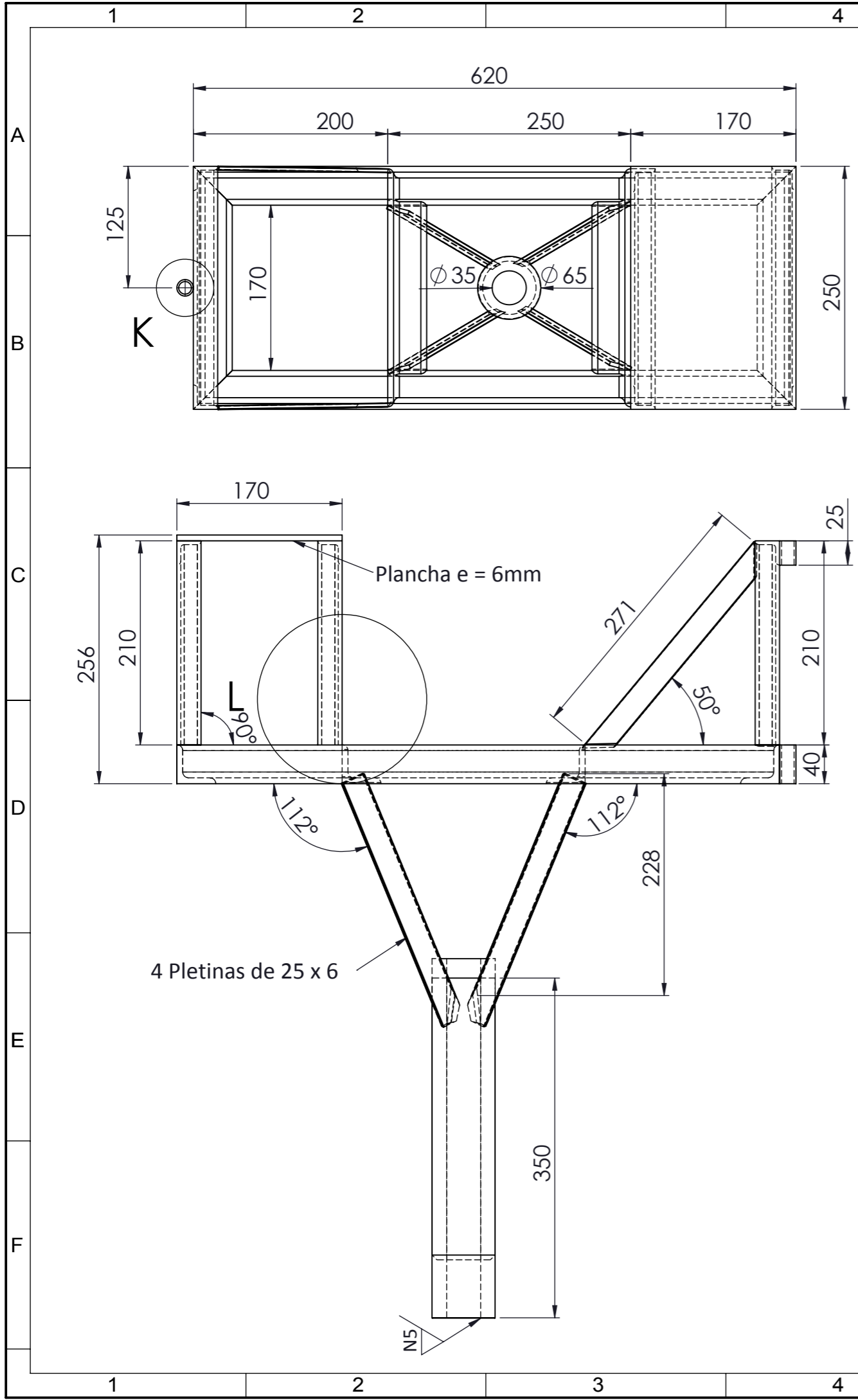
				Tolerancia: +/- 0.1	Peso : 0.33 Kg	MATERIAL: AISI 1011	
				Dib.	Fecha: 28/01/2012	Nombre: Daniel Guananga	Escala: 2:1
				Rev.	28/01/2012	Ing.Mayorga A.	
				Apro:	28/01/2012	Ing.Mayorga A.	
				U.T.A. Ingeniería Mecánica		Nro. 12 (Sustitucion)	
Edi- ción	Modificación	Fecha:	Nombre:				



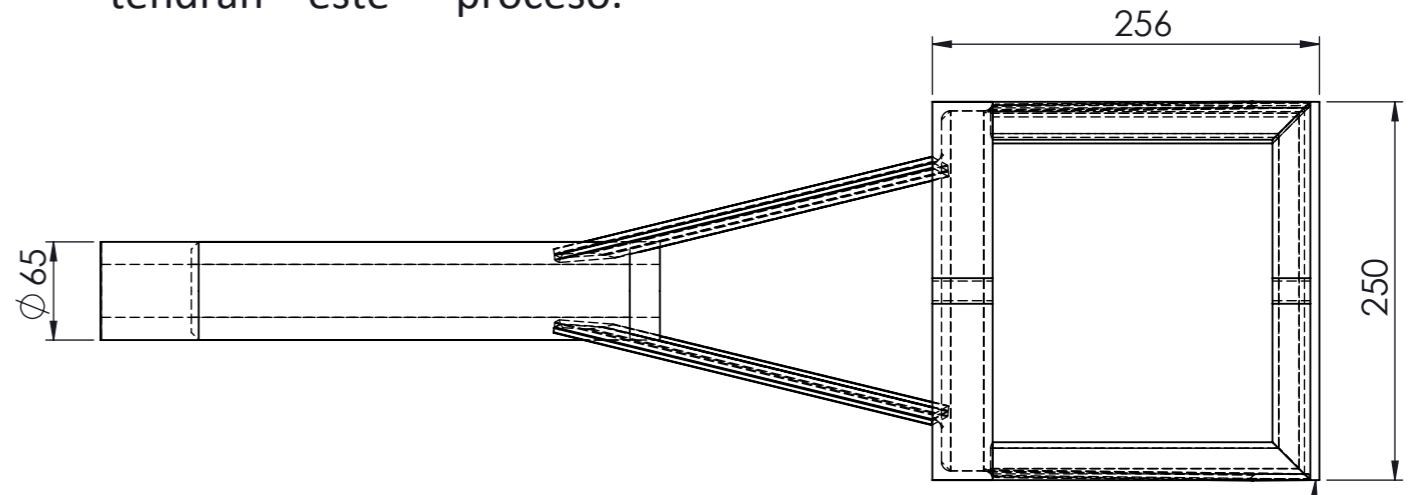
				Tolerancia: +/- 0.1	Peso : 0.5 Kg	MATERIAL: AISI 1020		
				Fecha: 28/01/2012	Nombre: Daniel Guananga		Escala: 1:1	
				Rev. 28/01/2012	Ing. Mayorga A.			
				Apro: 28/01/2012	Ing. Mayorga A.			
				U.T.A. Ingeniería Mecánica		Nro.13 (Sustitucion)		
Edi- ción	Modificación	Fecha:	Nombre:					⊕ ⊞



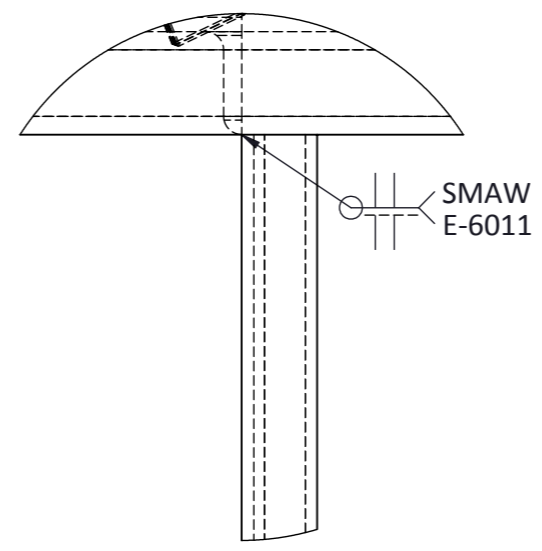
				Tolerancia: +/- 0.1	Peso : 1.5 Kg	MATERIAL: ASSI 1010	
				Fecha: 28/01/2012	Nombre: Daniel Guananga	COMPONENTE BIELA 2	
				Dib. 28/01/2012	Ing. Mayorga A.		
				Rev. 28/01/2012	Ing. Mayorga A.		
				Apro: 28/01/2012	Ing. Mayorga A.	Escala: 1:1	
				U.T.A. Ingeniería Mecánica		Nro.14	
Edi- ción	Modificación	Fecha:	Nombre:			(Sustitucion)	



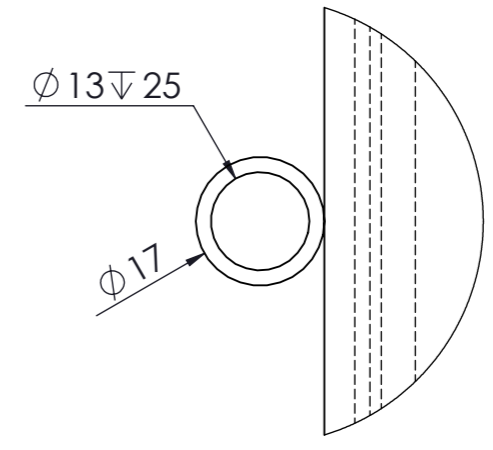
Nota: Todas las juntas soldadas tendran este proceso.



Pletina de 6mm. de espesor para soporte de los rodamientos.



DETALLE L
ESCALA 2 : 5



DETALLE K
ESCALA 1:1

Material	Horizontal	Vertical	Descripción
Hierro ángular	40 x40 x6		
Hierro ángular		25 x25 x4	
Pletina			25 x4
Eje hueco			D = 65 d = 35

Tolerancia:	Horizontal	Vertical	MATERIALES:	ASTM A36	
+/- 0.1	40 x40 x6	25 x25 x4			
Peso:			TORNAMESA Nro. 15 (Sustitucion)		
10.2 Kg					
Fecha:	27/01/2012	Nombre:			Guananga Daniel
Edi- cion	Modificación	Fecha:			27/01/2012
		Nombre:	Ing. Mayorga A.	Escala: 1: 5	
		Fecha:	27/01/2012		
		Nombre:	Ing. Mayorga A.	U.T.A. Ingeniería Mecánica	
		Fecha:	27/01/2012		

1

2

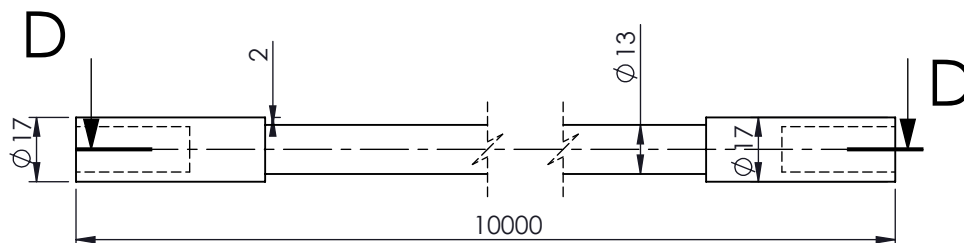
3

4

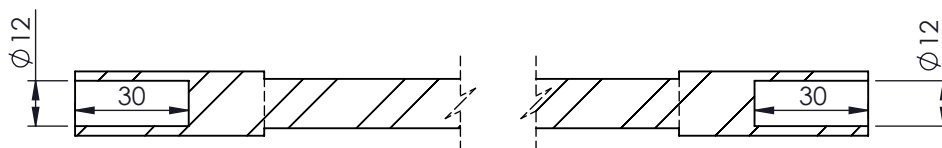
A

N7

B



C

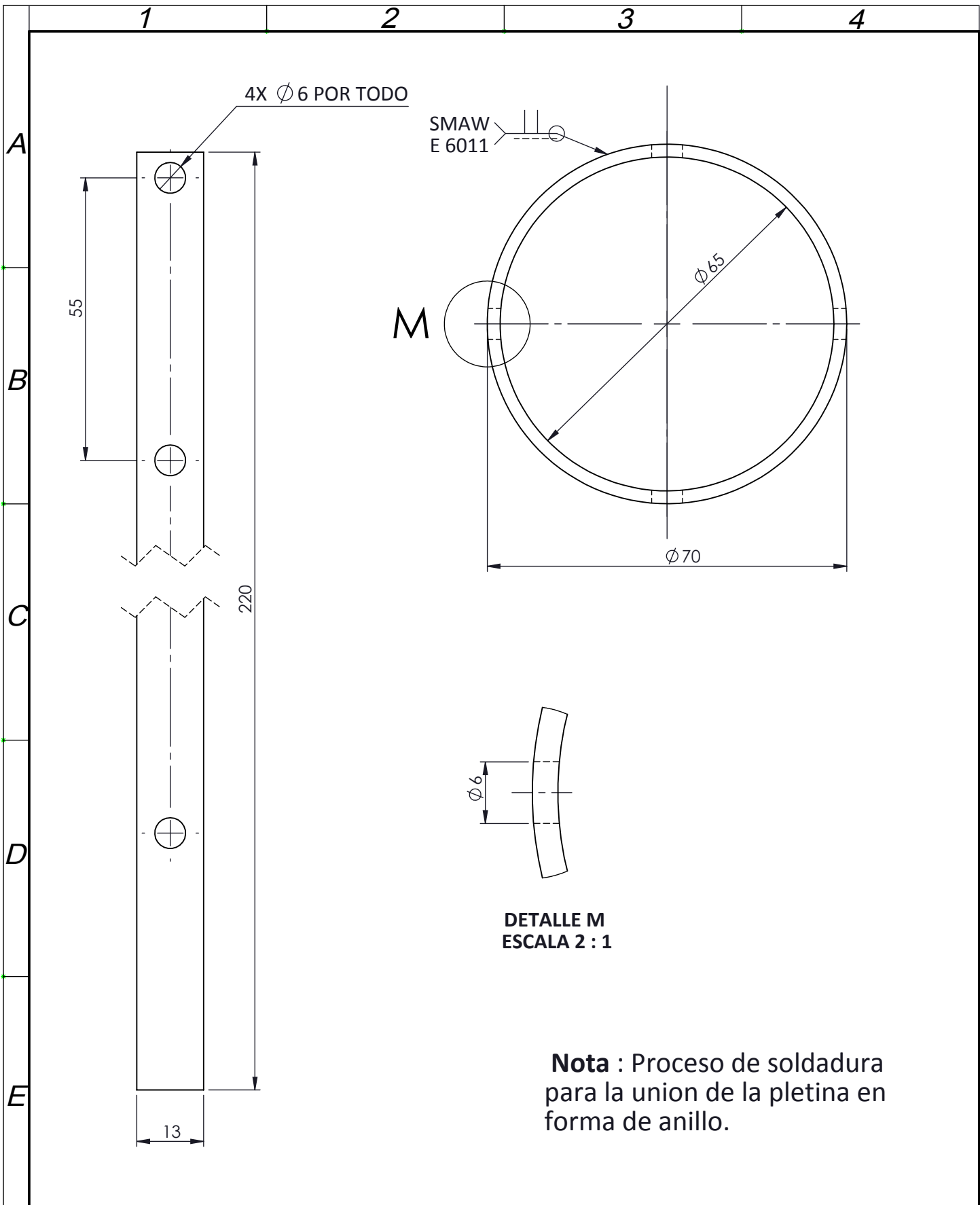


D

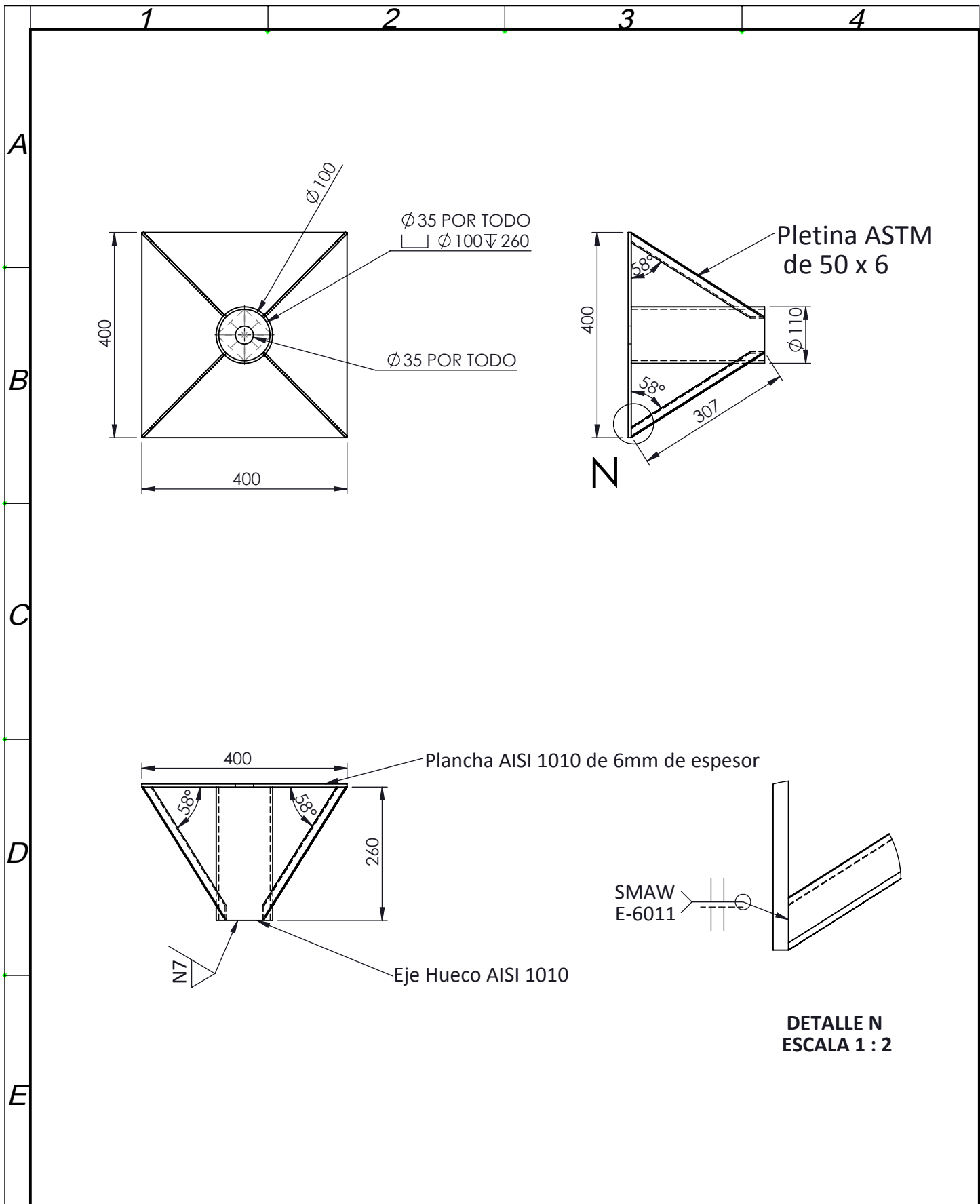
CORTE D-D
ESCALA 1 : 2

E

				Tolerancia: +/- 0.1	Peso : 10.3 kg	MATERIAL: AISI 1010	
						Eje de Transmisión	Escala: 1:2
				Fecha:	Nombre:		
				Dib. 28/01/2012	Daniel Guananga		
				Rev. 28/01/2012	Ing. Mayorga A.		
				Apro: 28/01/2012	Ing. Mayorga A.		
				U.T.A.		Nro. 16	
Edi- ción	Modificación	Fecha:	Nombre:	Ingeniería Mecánica			

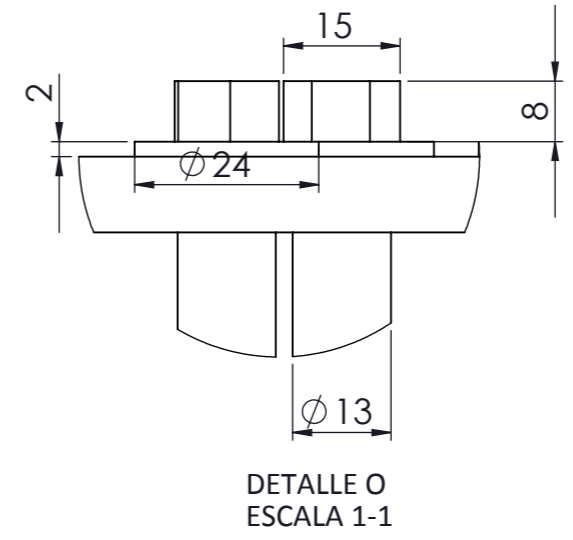
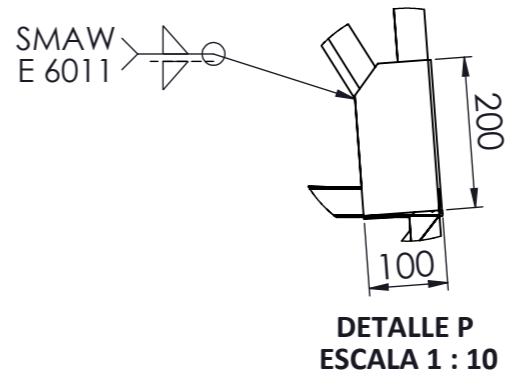
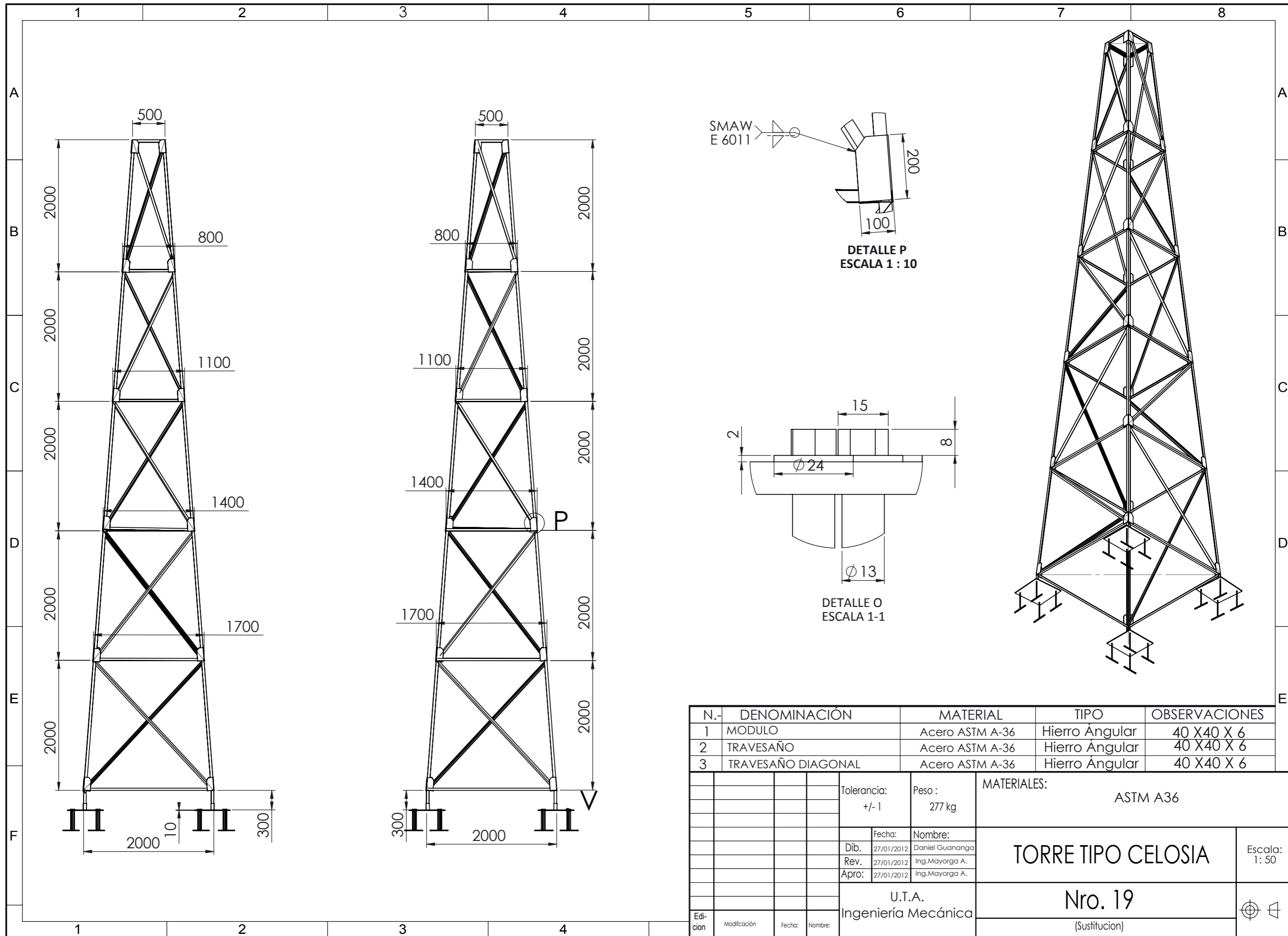


				Tolerancia: +/- 0.1	Peso : 1 Kg	MATERIAL: ASTM A 36 Plancha e= 4 mm	
				Dib.	Fecha: 28/01/2013	Nombre: Daniel Guananga	CERCO DE SUJECIÓN
				Rev.	28/01/2013	Ing. Mayorga A.	
				Apro:	28/01/2013	Ing. Mayorga A.	
				U.T.A. Ingeniería Mecánica		Nro. 17	
Edi- ción	Modifcación	Fecha:	Nombre:	(Sustitucion)		Escala: 1:1	
							



**DETALLE N
ESCALA 1 : 2**

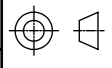
				Tolerancia: +/- 0.1	Peso : 4.2 Kg	MATERIAL: ASTM A 36		
						Soporte de Tornamesa	Escala: 1:10	
				Dib.	Fecha:			Nombre:
				Rev.	28/01/2012			Ing.Mayorga A.
				Apro:	28/01/2012	Ing.Mayorga A.		
				U.T.A. Ingeniería Mecánica		Nro. 18 (Sustitucion)		
Edición	Modificación	Fecha:	Nombre:					

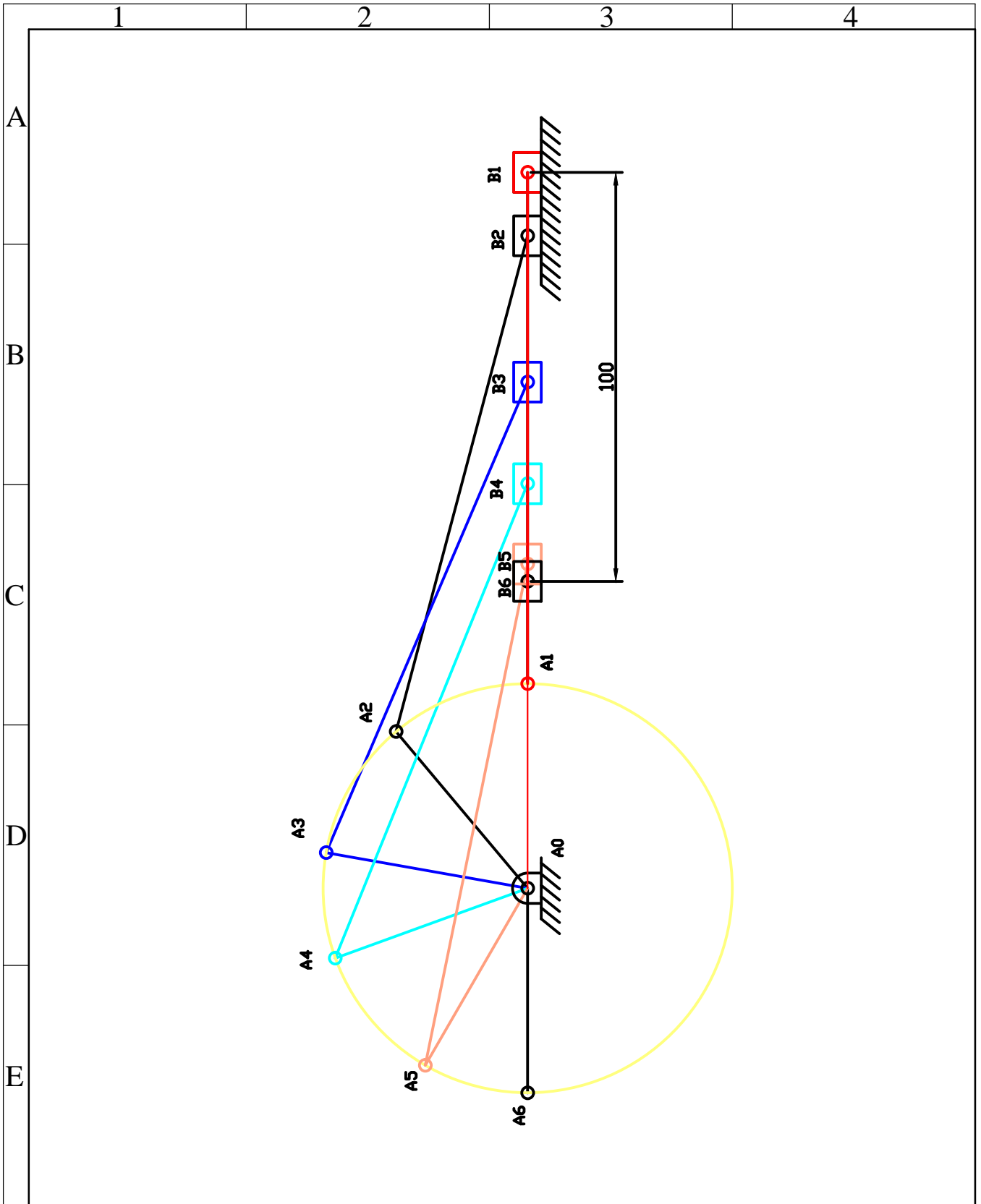


N.-	DENOMINACIÓN	MATERIAL	TIPO	OBSERVACIONES
1	MODULO	Acero ASTM A-36	Hierro Angular	40 X40 X 6
2	TRAVESAÑO	Acero ASTM A-36	Hierro Angular	40 X40 X 6
3	TRAVESAÑO DIAGONAL	Acero ASTM A-36	Hierro Angular	40 X40 X 6

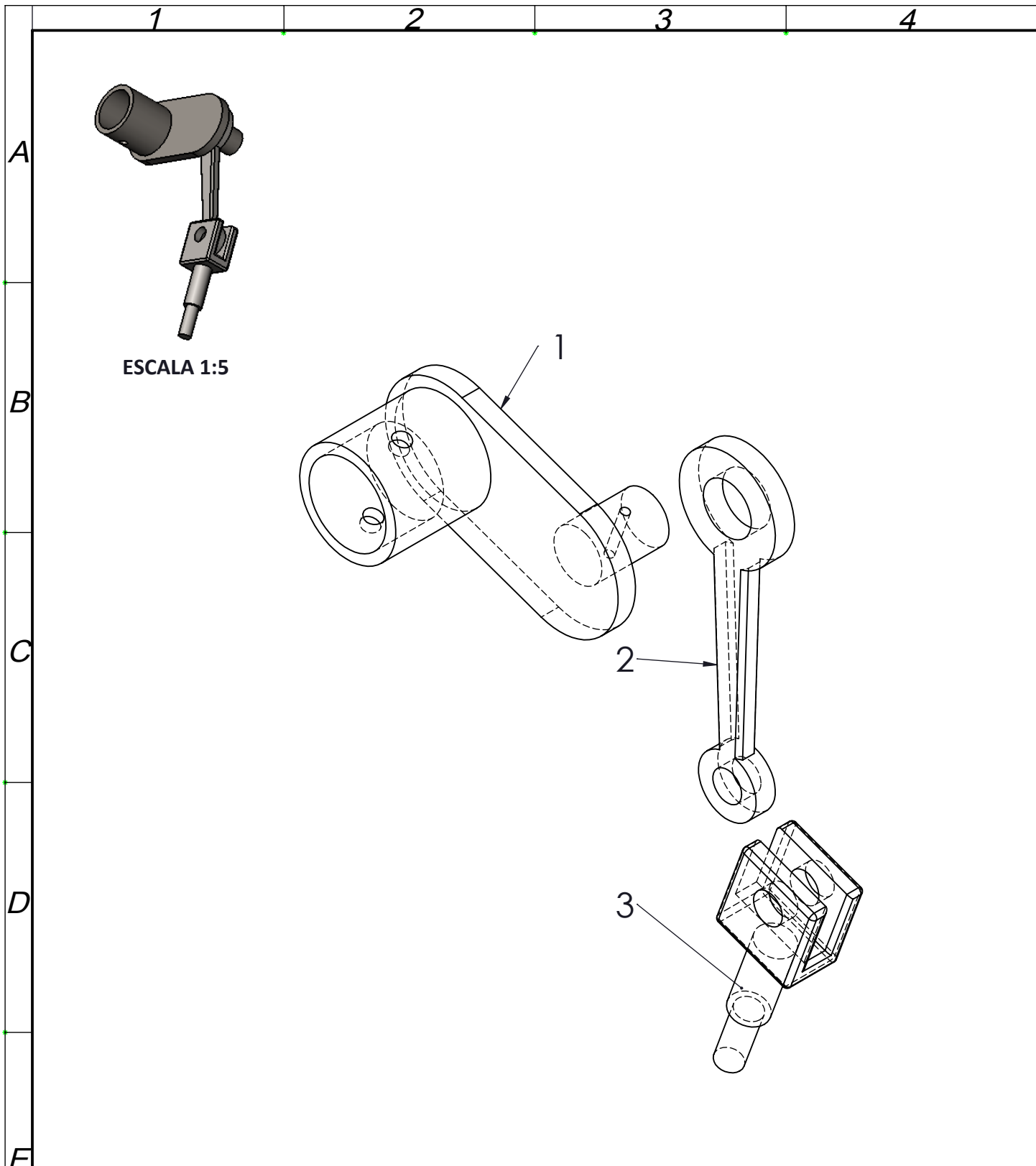
Tolerancia: +/- 1	Peso : 277 kg	MATERIALES: ASTM A36	
Fecha: 27/01/2012	Nombre: Daniel Guananga	TORRE TIPO CELOSIA	
Rev. 27/01/2012	Ing.Mayorga A.		
Apro: 27/01/2012	Ing.Mayorga A.		
U.T.A. Ingeniería Mecánica		Nro. 19 (Sustitucion)	
Edi- cion	Modificación	Fecha:	Nombre:

Escala:
1: 50





				Tolerancia:	Peso:	MATERIAL:	
				Fecha	Nombre	SISTEMA DE TRANSMISIÓN BIELA MANIVELA	Escala: 1:1
				Dib. 27/03/2013	Guananga D.		
				Rev. 27/03/2013	Ing. Mayorga A.		
				Apro. 27/03/2013	Ing. Mayorga A.		
				U.T.A			
Edi- ecep	Modifi- ecep	Fecha	Nombre	"Kpi gplgt" "O ge" plec		Nro.20	
						*Uwukwelep+	



Componentes	Nombre	Material
3	Manivela	AISI 1010
2	Biela "b"	AISI 1010
1	Biela "a"	AISI 1010

				Tolerancia: +/- 0.1	Peso : 4,5 Kg	MATERIAL: Varios	
				Dib.	Fecha: 27/01/2012	Nombre: Daniel Guananga	
				Rev.	27/01/2012	Ing.Mayorga A.	
				Apro:	27/01/2012	Ing.Mayorga A.	
				U.T.A. Ingeniería Mecánica		Conjunto Armado Sistema de Transmición	
				Nro. 21 (Sustitucion)		Escala: 1: 2	
Edi- ción	Modificación	Fecha:	Nombre:			