



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE FLUJO RADIAL DE
IMANES PERMANENTES DE NEODIMIO CON ESTATOR DE POLOS
SALIENTES

AUTOR: Juan Daniel Ramos Cabrera

TUTOR: Ing. Mauricio Carrillo. Mg.

AMBATO – ECUADOR

2019

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del presente Proyecto Técnico previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, bajo el tema “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE FLUJO RADIAL DE IMANES PERMANENTES DE NEODIMIO CON ESTATOR DE POLOS SALIENTES,” ejecutado por el señor Juan Daniel Ramos Cabrera, egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato.

CERTIFICO:

- EL presente proyecto técnico fue elaborado en su totalidad por el autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos.
- Ha sido concluido en su totalidad.

Ambato, Julio 2019



.....
Ing. Mauricio Carrillo, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los criterios emitidos en este PROYECTO TÉCNICO con el tema "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE FLUJO RADIAL DE IMANES PERMANENTES DE NEODIMIO CON ESTATOR DE POLOS SALIENTES," como también las ideas, análisis, y conclusiones son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor.

Ambato, Julio 2019



Juan Daniel Ramos Cabrera

CI: 160068434-2

AUTOR

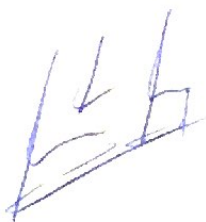
DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la universidad técnica de Ambato para que haga de este PROYECTO TÉCNICO o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi proyecto técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Autor

Ambato, Julio 2019



.....
Juan Daniel Ramos Cabrera

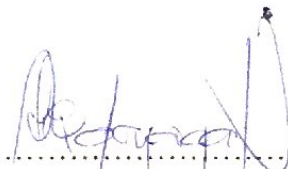
CI: 160068434-2

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

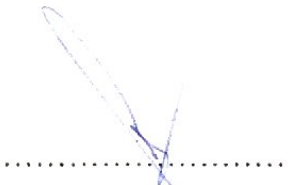
Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del proyecto técnico realizado por el estudiante Cristian Ernesto Claudio Medina de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE FLUJO RADIAL DE IMANES PERMANENTES DE NEODIMIO CON ESTATOR DE POLOS SALIENTES".

Para constancia firman:



.....

Ing. Mg. Alex Mayorga



.....

Ing. Mg. Luis Escobar

Ambato, Julio 2019

DEDICATORIA

El presente proyecto técnico se lo dedico a mi padre Francisco que a pesar de las dificultades siempre ha sabido apoyarme y enseñarme que en la familia siempre se encuentra la paz y las fuerzas para vencer todos los obstáculos que la vida nos pone.

A mi hermano Paul, que entre risas y enojos hemos compartido tantos momentos que para siempre quedaran guardados.

A mi abuelita Piedad, quien me brindaba ese amor y cariño que al partir para conseguir mis sueños me mantenían seguro.

A Daniela, espero y sigas recordando como se veía la cascada iluminada para ti.

AGRADECIMIENTO

A mi padre Francisco Ramos quien ha sido un pilar fundamental en mi desarrollo como persona y gracias a él he conseguido este logro en mi vida.

A mi hermano Paul quien ha estado conmigo en todos esos buenos y malos momentos, apoyándome en cada idea nueva o cada proyecto que se presentaba.

Al Ing. Mg. Mauricio Carrillo tutor de este proyecto y al Ing. Mg. Alex Mayorga, quienes me brindaron sus conocimientos, tiempo y ayuda para la realización de este proyecto y al Ing. Mg. Luis Escobar quien me brindo su amistad y conocimientos.

Al Ing. Henry Acurio quien me brindo sus conocimientos, ayuda en la parte eléctrica y los consejos de vida prestados como profesional.

A Daniela V. quien ha permanecido en cada etapa importante de mi vida y formación académica, brindándome esos ánimos en los momentos que parecía todo perdido y hoy han dado sus frutos.

A Manuel e Israel, con quienes realicé este proyecto y compartimos una experiencia de vida, con esas malas noches y alegrías al poder solucionar los problemas que se presentaban a cada momento y poder llenarnos de orgullo al ver funcional el sistema.

A mis compañeros y amigos que estuvieron en desde un inicio de mi formación hasta la realización de este proyecto, con quienes he compartido buenos momentos.

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
NOMENCLATURA	XVI
RESUMEN EJECUTIVO	XX
ABSTRACT.....	XXI
CAPÍTULO 1	22
MARCO TEÓRICO.....	22
1.1 ANTECEDENTES	22
2.1 OBJETIVOS:.....	23
2.2.1 Objetivo General	23
2.2.2 Objetivos Específicos:.....	23
2.2.2.1 Determinar parámetros de dimensionamiento del generador.....	23
• Generadores de flujo radial	23
• Tipos de generadores	24
• Generadores de corriente continua o directa	24
• Generadores de corriente alterna	25
• Partes de un generador de corriente continua.....	25

• Tipos de Bobinados	30
• Diferencia entre generadores de CC y CA	32
• Estator de polos salientes	33
• Tipo de rotor	33
• Número de ranuras	35
• Núcleo del rotor	36
• Cálculos para el dimensionamiento del rotor	37
• Bobinado monofásico concéntrico por polos	39
• Diámetro del rotor D_r	41
• Entrehierro (Air-gap)	44
• Diámetro del estator	45
• Dimensionamiento de ranuras	45
• Diseño mecánico	47
• Transmisión de potencia	51
• Datos polea Michell-Banki	56
• Diseño del eje	57
• Diseño estático	69
• Diseño dinámico	71
• Selección de rodamientos	77
2.2.2.2 Construir el generador de flujo radial de imanes permanentes de neodimio de estator con polos salientes	81
• Imanes permanentes de neodimio	81
• Aplicaciones de los imanes de Neodimio	82
• Generadores de imanes permanentes	82
• Neodimio-Hierro-Boro	82

• Topología de la imantación	83
• Selección de alternativas	83
• Imán permanente de neodimio	84
• Número de vueltas en serie por fase Nr	87
• Número de conductores por ranura z_Q	88
2.2.2.3 Determinar la potencia, voltaje y amperaje del generador.	92
• Sensores	92
CAPÍTULO 2	94
METODOLOGÍA	94
2.1 Materiales	94
2.2 Métodos	97
2.2.1 Cualitativo	97
2.2.2 Descriptivo	98
2.2.3 Exploratorio.....	98
2.2.4 Bibliográfico	98
2.3 Ejecución del proyecto	98
2.3.1 Construcción del sistema hídrico	98
2.3.2 Construcción del generador de imanes permanentes	100
2.4 Plan de recolección de la información	102
2.5 Plan de procesamiento y análisis	103
CAPÍTULO 3	104
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	104
3.1 Análisis y discusión de resultados.....	104
3.1.1 Rotor A36 y rotor de acero al silicio M19 con turbina Michell-Banki	104
3.1.1.1 Voltaje vs rpm.....	104
3.1.1.2 Amperaje vs rpm.....	106

3.1.2	Rotor A36 y rotor de acero al silicio M19 con turbina Pelton.....	107
3.1.2.1	Voltaje vs rpm.....	107
3.1.2.2	Amperaje vs rpm.....	108
3.1.3	Rotor de silicio M19 y turbina Michell-Banki.....	109
3.1.3.1	Voltaje vs rpm.....	109
3.1.3.2	Amperaje vs rpm.....	110
3.1.3.3	Potencia vs rpm.....	110
3.1.3.4	Potencia vs caudal.....	111
3.1.4	Rotor de acero al silicio M19 y turbina Pelton	112
3.1.4.1	Voltaje vs rpm.....	112
3.1.4.2	Amperaje vs rpm.....	112
3.1.4.3	Potencia vs rpm.....	113
3.1.4.4	Potencia vs caudal.....	114
CAPÍTULO 4.....		115
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		115
4.1	Conclusiones	115
4.2	Recomendaciones.....	116
BIBLIOGRAFÍA		118
ANEXOS		
PLANOS		

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Generador de C.C equipado con un conmutador.....	25
Figura 2. Partes fundamentales de una de C.C.....	26
Figura 3 Generador de varios polos con polaridades magnéticas opuestas	27
Figura 4. Sección transversal de un generador de dos polos.....	28
Figura 5. Laminaciones de armaduras con ranuras ahusadas	28
Figura 6. Conmutador de una de CC.....	29
Figura 7. Escobillas de generador	30
Figura 8 Tipos de excitación en bobinado inductor	31
Figura 9. Bobinado auxiliar de conmutación	32
Figura 10. Configuraciones básicas de estator-rotor.....	33
Figura 11. Tipos de rotores	34
Figura 12. Ranura típica del rotor de jaula.....	34
Figura 13. Líneas de flujo en variación de geometría.....	34
Figura 14. Comparación de la densidad de flujo magnético.....	37
Figura 15. Bobinado por polos.....	39
Figura 16 Paso polar	41
Figura 17 Densidad de campo magnético	44
Figura 18. Geometría de las ranuras del rotor.....	45
Figura 19. Representación gráfica de las condiciones de trabajo de la turbina Pelton	48
Figura 20. Poleas – Banda de la turbina Pelton al generador.....	53
Figura 21 Ángulos de las poleas	54
Figura 22. Par de torsión y fuerzas generadas en la polea conducida.....	57
Figura 23. Ángulos conocidos de las poleas y dirección de las fuerzas	61
Figura 24. Fuerzas generadas en el rotor bobinado.....	63
Figura 25. Ranuras del rotor.....	65
Figura 26. Diagrama de cuerpo libre de fuerzas	66
Figura 27. Diagrama de cuerpo libre en el plano x-y.....	66
Figura 28. Diagrama de fuerzas cortantes (N) plano x-y.....	67
Figura 29. Diagrama momento flector (Nm) en plano x-y	67
Figura 30. Diagrama de cuerpo libre en el plano x-z.....	68

Figura 31. Diagrama de fuerzas cortantes (N) plano x-z	68
Figura 32. Diagrama momento flector (Nm) en plano x-y	68
Figura 33. Ubicación del rotor bobinado, los cocientes y la polea (mm)	71
Figura 34. Imantación	83
Figura 35. Imán permanente de neodimio grado 52	84
Figura 36. Límite de eficiencia nominal (según métodos de prueba especificados en IEC 60034-30-1:2014).....	89
Figura 37. Número de conductores por ranura simulado.....	90
Figura 38. Voltaje de fase vs tiempo.....	91
Figura 39. Sensor de voltaje FZ1440	92
Figura 40. Sensor de intensidad de corriente ACS712	92
Figura 41 Sensor de proximidad capacitivo.....	93
Figura 42 Caudalímetro ultrasónico digital TUF-2000M	93
Figura 43. Voltaje vs rpm rotor A36 y rotor de acero al Silicio M19 con turbina Michell-Banki	104
Figura 44. Amperaje vs rpm rotor A36 y rotor de acero al Silicio M19 con turbina Michell-Banki	106
Figura 45. Voltaje vs rpm rotor A36 y rotor de acero al silicio M19 con turbina Pelton	107
Figura 46. Amperaje vs rpm rotor A36 y rotor de acero al silicio M19 con turbina Pelton	108
Figura 47. Voltaje vs rpm rotor de acero al silicio M19 y turbina Michell-Banki ..	109
Figura 48. Amperaje vs rpm rotor de acero al Silicio M19 y turbina Michell-Banki	110
Figura 49. Potencia vs rpm rotor de acero al silicio M19 y turbina Michell-Banki	110
Figura 50. Potencia vs caudal m ³ /h rotor de acero al silicio M19 y turbina Michell- Banki	111
Figura 51. Voltaje vs rpm y rotor de acero al Silicio M19 con turbina Pelton	112
Figura 52. Amperaje vs rpm y rotor de acero al Silicio M19 con turbina Pelton ...	112
Figura 53. Potencia vs rpm y rotor de acero al Silicio M19 con turbina Pelton	113
Figura 54. Potencia vs caudal m ³ /h y rotor de acero al Silicio M19 con turbina Pelton	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de ranuras de estator/rotor.....	35
Tabla 2. Grados de acero eléctrico.....	36
Tabla 3. Datos conocidos para el diseño del generador.....	37
Tabla 4. Cálculo del diámetro D_r en función de la potencia mecánica.....	43
Tabla 5. Resultados de la interpolación del diámetro y potencia.....	44
Tabla 6 Condiciones de trabajo de las turbinas Pelton y Michell Banki.....	47
Tabla 7. Datos obtenidos a 30 m de altura.....	50
Tabla 8. RPM y caudal obtenidos en campo de la turbina Michell-Banki.....	50
Tabla 9. Condiciones de trabajo Pelton y Michell Banki a 30m de altura.....	51
Tabla 10. Datos de la polea para la turbina Michell-Banki.....	56
Tabla 11. Propiedades mecánicas del acero AISI 1020.....	57
Tabla 12. Diámetro determinado del punto D.....	76
Tabla 13. Diámetros mínimos para el eje.....	77
Tabla 14. Datos físicos de los imanes.....	85
Tabla 15. Comparación de potencia eléctrica de imanes de neodimio.....	86
Tabla 16. Comparación de potencia eléctrica con rpm constantes.....	86
Tabla 17 Número de polos de un generador eléctrico y velocidades de giro.....	87
Tabla 18 Clases de eficiencia IE (Eficiencia Internacional).....	90
Tabla 19. Valores determinados con 50 conductores por ranura.....	91
Tabla 20. Materiales y equipos para turbinas.....	94
Tabla 21. Materiales y equipos en el generador.....	96
Tabla 22. Proceso de instalación de equipos y materiales en la cascada.....	98
Tabla 23. Construcción del generador de imanes permanentes.....	100
Tabla 24. Recolección de datos.....	103
Tabla 25. Turbina Michell-Banki con rotor A36 a 30ohm.....	143
Tabla 26. Turbina Michell-Banki con rotor A36 a 40ohm.....	144
Tabla 27. Turbina Michell-Banki con rotor A36 a 60ohm.....	145
Tabla 29. Turbina Michell-Banki con rotor A36 a 100ohm.....	146
Tabla 30. Turbina Michell-Banki con rotor A36 a 300ohm.....	147
Tabla 31. Turbina Michell-Banki con rotor de acero al Silicio M19 a 20ohm.....	148
Tabla 32. Turbina Michell-Banki con rotor de acero al Silicio M19 a 30ohm.....	149

Tabla 33. Turbina Michell-Banki con rotor de acero al Silicio M19 a 40ohm.....	150
Tabla 34. Turbina Michell-Banki con rotor de acero al Silicio M19 a 60ohm.....	151
Tabla 35. Turbina Michell-Banki con rotor de acero al Silicio M19 a 80ohm.....	152
Tabla 36. Turbina Michell-Banki con rotor de acero al Silicio M19 a 100ohm.....	153
Tabla 37. Turbina Pelton con rotor A36 a 30ohm	154
Tabla 38. Turbina Pelton con rotor A36 a 40ohm	155
Tabla 39. Turbina Pelton con rotor A36 a 60ohm	156
Tabla 40. Turbina Pelton con rotor A36 a 80ohm	157
Tabla 41. Turbina Pelton con rotor A36 a 100ohm	158
Tabla 42. Turbina Pelton con rotor A36 a 300ohm	159
Tabla 43. Turbina Pelton con rotor de acero al Silicio M19 a 20ohm.....	160
Tabla 44. Turbina Pelton con rotor de acero al Silicio M19 a 30ohm.....	161
Tabla 45. Turbina Pelton con rotor de acero al Silicio M19 a 40ohm.....	162
Tabla 46. Turbina Pelton con rotor de acero al Silicio M19 a 60ohm.....	163
Tabla 47. Turbina Pelton con rotor de acero al Silicio M19 a 80ohm.....	164
Tabla 48. Turbina Pelton con rotor de acero al Silicio M19 a 100ohm.....	165

NOMENCLATURA

α	Aceleración angular [rad/s^2]
\bar{a}	Aceleración lineal [m/s^2]
b_{tr}	Ancho de diente [m]
A	Área de la sección transversal de la tubería [m^2]
C	Capacidad de carga dinámica [kN]
P	Carga estática equivalente [kN]
Q	Caudal [m^3/s]
C_c	Coefficiente de corrección.
f	Coefficiente de fricción efectivo
k_c	Coefficiente en función de la sección de la banda
γ	Coefficiente para air-gap.
k_{ts}	Concentración de esfuerzos
C_{mec}	Constante de potencia mecánica de la máquina [kW/m^3]
I_r	Corriente del rotor [A]
J_r	Densidad de corriente [A/mm^2]
A	Densidad de corriente lineal [kA/m]
B_{tr}	Densidad de flujo del diente
\hat{B}_δ	Densidad de flujo del entrehierro. [T]
α_i	Densidad del flujo
s	Deslizamiento (slip)
D_2	Diámetro de la polea conducida [m]
D_1	Diámetro de la polea conductora [m]
D_s	Diámetro del estator [m]
D_r	Diámetro del rotor [m]
d_2	Diámetro inferior de la ranura [m]
D_i	Diámetro interno de la tubería (Polietileno de baja densidad) [m]
d_1	Diámetro superior de la ranura [m]
d_{mr}	Diantre medio del rodamiento [m]
η	Eficiencia.
E_M	Energía magnética [kJ]
δ_0	Entrehierro (Air-gap) [m]

σ'_a	Esfuerzos alternantes y medios [<i>MPa</i>]
p	Exponente de vida.
K_{Fe}	Factor de apilamiento
k_w	Factor de bobinado del rotor
k_t	Factor de concentración de esfuerzo por flexión y cortante.
k_e	Factor de confiabilidad.
a_1	Factor de confiabilidad.
k_c	Factor de modificación de la carga.
k_a	Factor de modificación de la condición superficial
k_b	Factor de modificación del tamaño.
φ	Factor de potencia.
a_3	Factor de servicio.
k_d	Factor de temperatura.
a_2	Factor del material.
k_f	Factores de concentración de esfuerzo
ks	Factores de servicio
f	Frecuencia [<i>Hz</i>]
F_R	Fuerza de reacción [<i>N</i>]
F_T	Fuerza tangencial del rotor [<i>N</i>]
K_f	Límite de resistencia a la fatiga
S_e	Límite de resistencia a la fatiga [<i>MPa</i>]
L_p	Longitud primitiva de la correa [<i>m</i>]
m_T	Masa total del rotor [<i>kg</i>]
I	Momento de inercia [<i>kg-m²</i>]
n_c	Nivel de contaminación del rodamiento
B	Número de bobinas
z_Q	Número de conductores por ranura
m	Número de fases
2_{pq}	Número de grupos por fase por el número de fases.
N	Número de imanes
η	Número de pole
$2p$	Número de polos
q_r	Número de ranuras por polo y por fase
Q_r	Número de ranuras.

n_2	Número de revoluciones de la polea conducida [<i>rev/min</i>]
n_1	Número de revoluciones de la polea conductora [<i>rev/min</i>]
Re	Número de Reynolds
T	Par nominal del generador [<i>N</i>]
τ_r	Paso de ranura [<i>m</i>]
τ_p	Paso polar [<i>m</i>]
Y_p	Paso polar por ranura
h_R	Pérdidas por fricción [<i>m</i>]
γ	Peso específico del agua a 20 °C. [<i>kN/m³</i>]
F_{By}	Peso total del rotor [<i>N</i>]
P	Potencia [<i>kW</i>]
P_T	Potencia de la turbina [<i>kW</i>]
P_e	Potencia efectiva [<i>kW</i>]
P_{em}	Potencia eléctrica [<i>W</i>]
P_{mec}	Potencia mecánica [<i>kW</i>]
P_T	Potencia que el fluido transmite [<i>kW</i>]
ΔF	Potencia transmitida por banda [<i>N</i>]
$(B - H)_{max}$	Producto energético [<i>kJ/m³</i>]
r	Radio del rotor [<i>m</i>]
K_{pq}	Ranuras que ocupan el bobinado por polo magnético y por fase.
k	Ratio de viscosidad
R_{av}	Relación ajuste de vida.
x	Relación equivalente longitud – diámetro de air-gap [<i>m</i>]
n_s	Revoluciones por minuto [<i>rev/min</i>]
ϵ	Rugosidad relativa
S_{cr}	Sección transversal del conductor del hilo de cobre [<i>mm</i>].
F_c	Tensión centrífuga ejercida por la banda [<i>N</i>]
$U_{r.ph}$	Tensión de fase del rotor \approx voltaje de fase V_n
T_2	Tensión equivalente en la polea impulsada [<i>N</i>]
T_1	Tensión equivalente en la polea impulsora [<i>N</i>]
F_1	Tensión mayor de la banda [<i>N</i>]
a	Trayectoria de corriente
ω	Velocidad angular [<i>rev/min</i>]
n_{syn}	Velocidad de sincronismo [<i>rad/s</i>]

L_{10h}	Vida del rodamiento [h]
N_p	Vida en número de pasadas.
ν	Viscosidad cinemática [m^2/s]
V_1	Viscosidad de aceite ideal [m/s^2]
V	Voltaje [V]
V_n	Voltaje de fase [V]
V_i	Volumen de los imanes [m^3]

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE FLUJO RADIAL DE IMANES PERMANENTES DE NEODIMIO CON ESTATOR DE POLOS SALIENTES”

AUTOR: Juan Daniel Ramos Cabrera

TUTOR: Ing. Mauricio Carrillo. Mg.

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente proyecto técnico tiene como finalidad el diseño y construcción de un generador de flujo radial de imanes permanentes de neodimio con estator de polos salientes con el cual se generó energía eléctrica a partir del uso de imanes permanentes de neodimio sujetos al estator, mismo que son empleados para mantener un campo magnético permanente y con un rotor bobinado.

Para la elaboración de este proyecto se utilizó la energía hidráulica de la cascada “El Silencio” ubicada en la parroquia Ulba en el canto Baños de Agua Santa con un salto de agua de 30m y dos turbo-bombas Pelton y Michell-Banki con el fin de identificar la configuración que brinde mayor entrega energética. Se construyeron dos rotores bobinados, uno de A36 y otro de acero al Silicio M19, manteniendo similares configuraciones en el tipo de bobinado, sin embargo, el rotor de A36 presentaba una densidad de campo magnético superior por su alto contenido de carbono. Esto provocó que el caudal requerido para vencer la inercia del rotor sea mayor, además, su temperatura aumentaba de 40 a 120°C en el bobinado limitando su funcionamiento.

En las pruebas se recolectó los datos de voltaje, amperaje, caudal y rpm mismos que fueron tabulados y graficados. Al interpretar las gráficas se determinó que la turbo-bomba Michell-Banki presentaba mejores resultados que la turbo-bomba Pelton. Alcanzando un voltaje de entre 80 – 110 V con una resistencia de 20 ohm y un amperaje máximo de 4,57 A, el caudal requerido para su funcionamiento fue entre el rango de 50 a 150 m³/h.

La aplicación de este sistema en conjunto turbo-bomba Michell-Banki y generador de imanes permanentes de neodimio con estator de polos salientes y rotor de acero al Silicio M19 podría ser aplicado para una vivienda a la cual el servicio eléctrico se vea limitado por el alambrado público y el bombeo del líquido vital sea requerido.

ABSTRACT

The purpose of this technical project is the design and construction of a radial flow generator of permanent neodymium magnets with outgoing pole stator, with which electric power was generated from the use of permanent neodymium magnets subject to the stator, which they are used to maintain a permanent magnetic field and with a winding rotor.

For the elaboration of this project the hydraulic energy of the waterfall “El Silencio” located in the parish Ulba was used in the song Baños de Agua Santa with a waterfall of 30m and two turbo-pumps Pelton and Michell-Banki in order to identify the configuration that provides the greatest energy delivery. Two winding rotors were built, one of A36 and the other of silicon steel M19, maintaining similar configurations in the type of winding, however, the A36 rotor had a higher magnetic field density due to its high carbon content. This caused that the flow required to overcome the inertia of the rotor is greater, in addition, its temperature increased from 40 to 120 ° C in the winding limiting its operation.

In the tests, the data of voltage, amperage, flow rate and rpm were collected, which were tabulated and plotted. In interpreting the graphs, it was determined that the Michell-Banki turbo-pump had better results than the Pelton turbo-pump. Achieving a voltage between 80 – 110 V with a resistance of 20 ohm and a maximum amperage of 4.57 A, the flow required for its operation was between the range of 50 to 150 m³/h.

The application of this system in conjunction with the turbo-pump Michell-Banki and generator of permanent magnets of neodymium with stator of protruding poles and rotor of silicon steel M19 could be applied to a house to which the electric service is limited by the wiring public and the pumping of vital fluid is required.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES

La investigación de los generadores radiales se ha visto influenciada por el creciente desarrollo de nuevos materiales ferromagnéticos, uno de ellos son los imanes permanentes de neodimio. Una de las investigaciones [1], “Adaptación de un generador eléctrico de imanes permanentes y flujo radial”. En el cual realiza la generación de energía con bajas revoluciones. Al cambiar el diámetro del alambre por uno menor y aumentando el número de vueltas del bobinado del estator, produjo el aumento de la constante de construcción de la máquina permitiendo aumentar el voltaje y potencia generada.

De manera similar, el trabajo realizado por [2], con el tema de investigación “Diseño de un generador eléctrico para sistemas eólicos de baja potencia,” empleando imanes permanentes con el propósito de generar 1 kW. Esta característica fue tomada en cuenta para satisfacer los requerimientos básicos para pobladores del área rural de la Patagonia en Argentina

Las diferentes configuraciones que puede presentar un generador dependen de la necesidad o energía que se requiera, al variar las geometrías se puede obtener un incremento o decremento de su rendimiento en función de las revoluciones del eje. En el caso de la investigación realizada por [3] con “Performance Comparison of Internal and External Rotor Structured Wind Generators Mounted from Same Permanent Magnets on Same Geometry,” se realiza una comparación de eficiencia entre un generador de rotor interno y rotor externo. En el cual se ha mantenido la misma geometría, llegando a conclusiones de eficiencia notables y determinando que un generador con rotor externo puede ser más eficiente para un generador eólico.

El desarrollo de los imanes permanentes a permitido no solo el avance tecnológico, sino también industrial. Como se presenta en la investigación [4] con “Imanes permanentes: características, aplicaciones y futuro” realizada en 2016. El cual detalla el crecimiento del imán permanente de neodimio (Nd-Fe-B), en base al producto de

energía máxima MGOe (Mega-Gauss-Oersted o kilojulio por metro cúbico), que pueden alcanzar dichos imanes siendo superior a los 50 MGOe [4].

2.1 OBJETIVOS:

2.2.1 Objetivo General

Diseñar y construir un generador de flujo radial de imanes permanentes de neodimio de estator con polos salientes

2.2.2 Objetivos Específicos:

2.2.2.1 Determinar parámetros de dimensionamiento del generador

- **Generadores de flujo radial**

Los generadores de flujo radial son denominados de esa forma, debido a que el campo magnético generado por los imanes permanentes es perpendicular al eje de giro, esto genera el flujo en el entrehierro en dirección radial, esto quiere decir que el campo magnético es de forma perpendicular al eje de giro o que se direcciona de forma radial [5].

Las máquinas rotatorias o de flujo radial se presentan en dos tipos, las que convierten la energía mecánica en eléctrica son llamados generadores y aquellas que generan energía eléctrica en mecánica se denominan motores. Las máquinas de corriente continua pueden trabajar ya sea como un motor o como un generador sin que se requiera realizar una modificación previa y de igual manera con las máquinas de corriente alterna. [6]

Se le conoce al primer principio como inducido a la “acción del generador,” el cual puede inducir el voltaje en un conductor presente dentro de un campo magnético, esto ocurre cuando el flujo magnético es cortado por el conductor. Es realizado con el fin de tomar la energía mecánica para generación del movimiento. El segundo principio es la “acción del motor,” el cual es simplemente las fuerzas mecánicas que se producen entre imanes. Al aproximarse un imán al otro, uno de ellos es repelido o atraído respecto al otro, de esta manera se crean campos magnéticos por la energía eléctrica generada, a continuación, es producido el movimiento por las fuerzas entre los dos campos magnéticos. [6] [7]

- **Tipos de generadores [8]**

Se presentan diferentes tipos de generadores, estos se dividen de acuerdo a como produce su flujo de campo:

- **Generadores de excitación separada:** Una fuente de potencia genera el flujo de campo, el cual está separa del generador en sí mismo.
- **Generación en derivación:** en los terminales del generador al conectar directamente el circuito del campo, se obtiene el flujo de campo.
- **Generador serie:** al conectar en serie el inducido del generador con el circuito de campo se produce el flujo de campo.
- **Generador compuesto acumulativo:** Se presenta el campo en serie y el campo en derivación, y sus efectos son aditivos.
- **Generador compuesto diferencial:** Se presentan el campo en serie y en el campo en derivación, sin embargo, sus efectos se restan.

Estos generadores de corriente continua son diferentes en sus características en terminales (voltaje-corriente), y de igual manera en las aplicaciones en las cuales son aplicados.

- **Generadores de corriente continua o directa**

Según [7] *“El voltaje producido en cualquier generador de corriente directa es inherentemente alterno y solo se transforma en cd una vez que ha sido rectificado por el conmutador”*. Para el funcionamiento del generador la cara del polo norte se presenta frente a la cara del polo sur, los polos producen un campo más intenso. Sobre el rotor se encuentra el devanado de la bobina de la armadura, los extremos del bobinado están fijos a una banda metálica individual, dichas bandas son llamadas anillos rozantes donde es generado el voltaje [9]. En las máquinas de corriente continua en los anillos colectores se presenta un rectificador mecánico como se muestra en la figura 1, el cual es denominado conmutador.

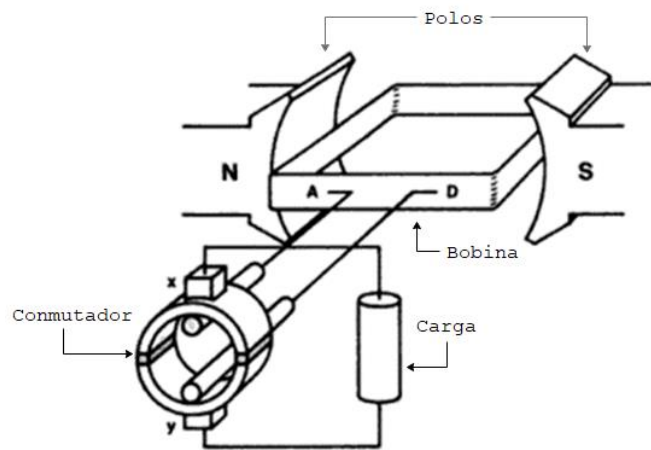


Figura 1. Generador de C.C equipado con un conmutador Fuente: [7]

- **Generadores de corriente alterna**

Los generadores síncronos de campo estacionario presentan una semejanza con generadores de CD, cuyo campo magnético es cortado por una armadura. La armadura contiene un devanado trifásico cuyas terminales están conectadas a tres anillos montados en el eje. [7]

- **Partes de un generador de corriente continua**

Se presentan las partes básicas de un generador de corriente continua: [6].

- **Inductor:** está destinada a generar un campo magnético, el cual produce corrientes inducidas. Consta de las siguientes partes.
 - **Culata o yugo:** Soporta toda la máquina y se fija sobre ella los demás componentes
 - **Pieza polar:** Llamada también zapata polar, sobre las cuales se colocan los bobinados de excitación y de conmutación.
 - **Entrehierro:** Es el espacio de aire presente entre las expansiones polares y el rotor
 - **Núcleo rotórico:** Constituido por chapas magnéticas debido a que estará sometido a un campo magnético variable.
 - **Devanado inductor:** conjunto de espiras, encargadas de generar el campo magnético cuando es recorrida la corriente eléctrica.
- **Inducido:** Conocido también como rotor, es la parte rotatoria de la máquina.

- **Devanado inducido:** En el circuito exterior de la máquina se encuentra conectado el devanado, en el que se genera la conversión principal de la energía.
- **Colector de delgas (inducido):** Conjunto de láminas colectoras, sobre ellas frotan las escobillas las cuales están separadas una respecto a la otra, sin embargo, se encuentran conectadas a las secciones del devanado de corriente continua.
- **Núcleo del inducido:** Se encuentra montada sobre el cuerpo fijo al eje, conformado por chapas magnéticas. El devanado inducido es alojado en las ranuras que disponen las chapas.
- **Escobillas:** Mediante contacto deslizante generan la conexión eléctrica de una parte móvil con una fija.
- **Cojinetes:** Empleadas para la fijación y apoyo del eje del inducido.

Para la comprensión de la ubicación de las partes de la de corriente continua antes mencionadas se representa de manera gráfica en la figura 2.

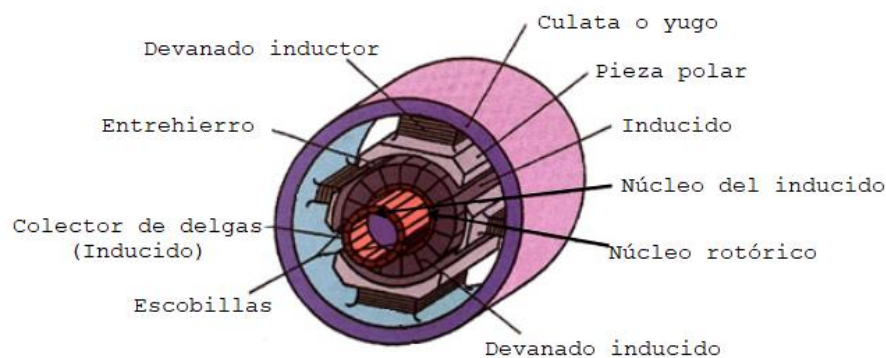


Figura 2. Partes fundamentales de una de C.C. Fuente: [10]

- **Construcción de generadores de corriente directa [7]**

Se presenta a continuación las características para la construcción mecánica en referencia al campo, la armadura, el conmutador y las escobillas.

Campo

Produce el flujo magnético de la máquina, consta de un juego de polos salientes que se alojan en el interior de la carcasa. La corriente directa de excitación es transportada por las bobinas de campo que se encuentran montados en los polos. En ciertos generadores el flujo es producido por medio de imanes permanentes.

El número de polos que sean empleados para la máquina, dependen de su tamaño físico. Se puede mejorar su desempeño, reducir su tamaño y reducir sus dimensiones al diseñarlo con varios polos. Como se muestra en la figura 3, los polos se presentan con polaridades magnéticas opuestas debido a las bobinas de campo conectadas entre sí.

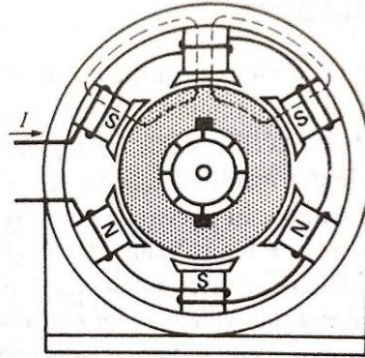


Figura 3 Generador de varios polos con polaridades magnéticas opuestas Fuente: [7]

Un espacio de entre 1.5 a 5 mm separa a la armadura del entrehierro, el cual varía de acuerdo a la capacidad del generador vaya en aumento de 1 a 100 kW.

La armadura y el campo al estar compuestos por materiales magnéticos de gran permeabilidad, la gran parte de la fuerza magnetomotriz (fmm) generada por el campo es empleada para impulsar el flujo en el entrehierro. Por tanto, se reduce el tamaño y longitud de las bobinas de campo en derivación, sin embargo, el tamaño del entrehierro no puede ser demasiado pequeño ya que el efecto de la reacción de la armadura sería muy elevado. Para evitar que el devanado no se sobrecaliente cuando se transporta la corriente del generador a plena carga, el diámetro del conmutador debe ser suficientemente grande. En la figura 4 se detalla la ubicación de los componentes que conforman el campo en un generador de dos polos.

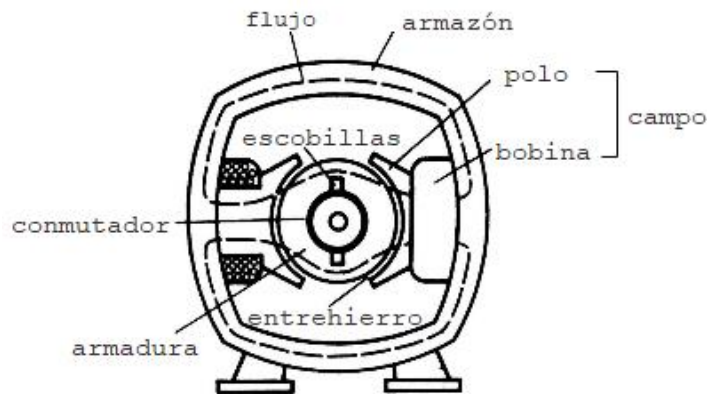


Figura 4. Sección transversal de un generador de dos polos Fuente: [7]

Armadura

Es la parte rotatoria de un generador de corriente continua, se compone de un conmutador, un núcleo de hierro y un juego de bobinas. Gira entre los polos de campo, su núcleo de hierro está compuesta por laminaciones de hierro ranuradas y apiladas las cuales forman un núcleo cilíndrico sólido. Estas laminaciones se encuentran recubiertas con películas aislantes individualmente, para evitar el contacto eléctrico entre sí y se reducen las corrientes parasitas.

Se pueden presentar dos tipos de devanados: devanados trifásicos convencionales con alambre aislado y devanados de jaula de ardilla, esta última presenta barras de cobre desnudo insertadas en ranuras por los extremos.

Se emplea alambre redondo cuando la corriente de la armadura es menor a 10A, sin embargo, si excede de los 20A se emplean conductores rectangulares para aprovechar el espacio disponible de las ranuras. Las laminaciones de una armadura pequeña se muestran en la figura 5.



Figura 5. Laminaciones de armaduras con ranuras ahusadas Fuente: [7]

El rotor devanado es comúnmente empleado de manera trifásica al igual que en el estator, muy a menudo con 3 conductores y conexión en Y. Estos conductores son conectados a los anillos rotatorios y por medio de escobillas rozantes se obtiene o induce energía eléctrica.

Conmutador y escobillas

Se compone el conmutador de segmentos de cobre ahusados en un ensamble, se encuentran aislados con hojas de mica y montados en el eje como se muestra en la figura 6. Al conmutador se encuentran conectados los conductores de la armadura, al construir el conmutador se requiere de mucho cuidado, debido a que cualquier excentricidad podría generar un rebote de las escobillas y que se produzcan chispas no deseadas. Estas chispas sobrecalientan y carbonizan el conmutador y queman las escobillas.

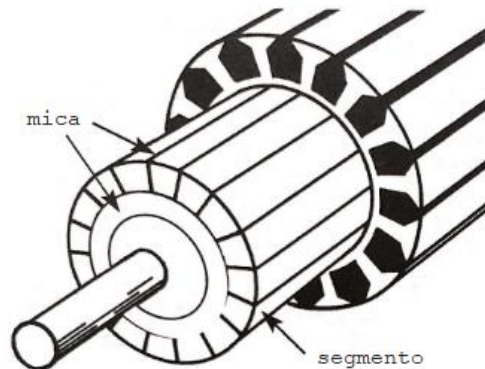


Figura 6. Conmutador de una de CC. Fuente: [7]

Se presentan en las máquinas de 2 polos, dos escobillas de manera opuesta entre sí. En máquinas con más número de polos, los juegos de escobillas son los mismos que los polos que poseen o para el tipo de conexión realizada en su configuración, como se muestra en la figura 7. Estos juegos de escobillas están compuestos de una o más escobillas, dependiendo de la corriente a conducir.

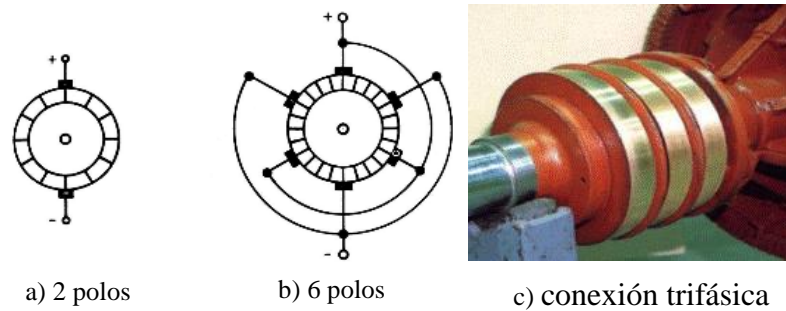


Figura 7. Escobillas de generador Fuente: [7]

Se colocan a intervalos iguales los juegos de las escobillas alrededor del conmutador, las cuales se encuentran sostenidas mediante una corona móvil que permite a todo el ensamble de las escobillas girar un ángulo y luego fijarse a la posición neutra. Las escobillas que presentan la misma polaridad están conectadas entre sí y los conductores son conectados a las terminales negativa y positiva. Debido a que la conductividad eléctrica del carbón es buena y no raya el conmutador, las escobillas son de dicho material. Para una mejora en las conductividades en se mezcla con pequeñas cantidades de cobre. Para que exista un contacto entre las escobillas y el conmutador, en la cual se emplea una presión de 15 kPa con un resorte y una densidad de corriente admisible de $10 A/cm^2$.

- **Tipos de Bobinados**

Es un conjunto de conductor eléctricos generalmente de cobre o aleaciones de aluminio, los cuales se ubican en los ranurados ya sean del rotor o el estator. Las bobinas que poseen un mismo centro son denominados concéntricos y son denominados excéntricos cuando no poseen un centro común, ambas con el objetivo de generar fuerzas magnetomotrices en forma sinusoidal. [11]

Bobinado inductor [6]

El sistema inductor produce un campo magnético que genera corrientes inducidas, las cuales pueden ser producidas por electromagnetismo o imanes permanentes. Para generar la fuerza electromotriz deseada en el bobinado inducido, se requiere que el bobinado inductor principal cree un flujo magnético. Los polos de conmutación en los que se ubican el bobinado inductor auxiliar, tienen como objetivo el mejoramiento de las condiciones de funcionamiento de la máquina.

Ambos tipos de bobinas (inductora y conmutación), son fabricadas por separado. La sección S_r así como número de espiras N_r , producen la fuerza electromotriz la cual viene dada por la cuando la corriente de excitación i la recorre, con el fin de crear el flujo Φ .

Se presentan de distintas características las bobinas polares e inductores como:

- **Excitación independiente:** Una fuente de alimentación exterior a la máquina suministra corriente que recorre las bobinas inductoras.
- **Excitación en serie:** La corriente generada por el inducido, es la que recorre por las bobinas inductoras, por lo cual, se presenta de sección grande y pocas espiras.
- **Excitación shunt:** La intensidad total es distribuida entre ellos por medio de la conexión entre el circuito inductor conectado en derivación con el circuito inducido y la carga.
- **Excitación compound:** Se presentan dos circuitos: en derivación y en serie, con características para serie y derivación shunt.

De manera gráfica se representan en la figura 8, los tipos de bobinados, en los cuales se puede identificar la configuración.

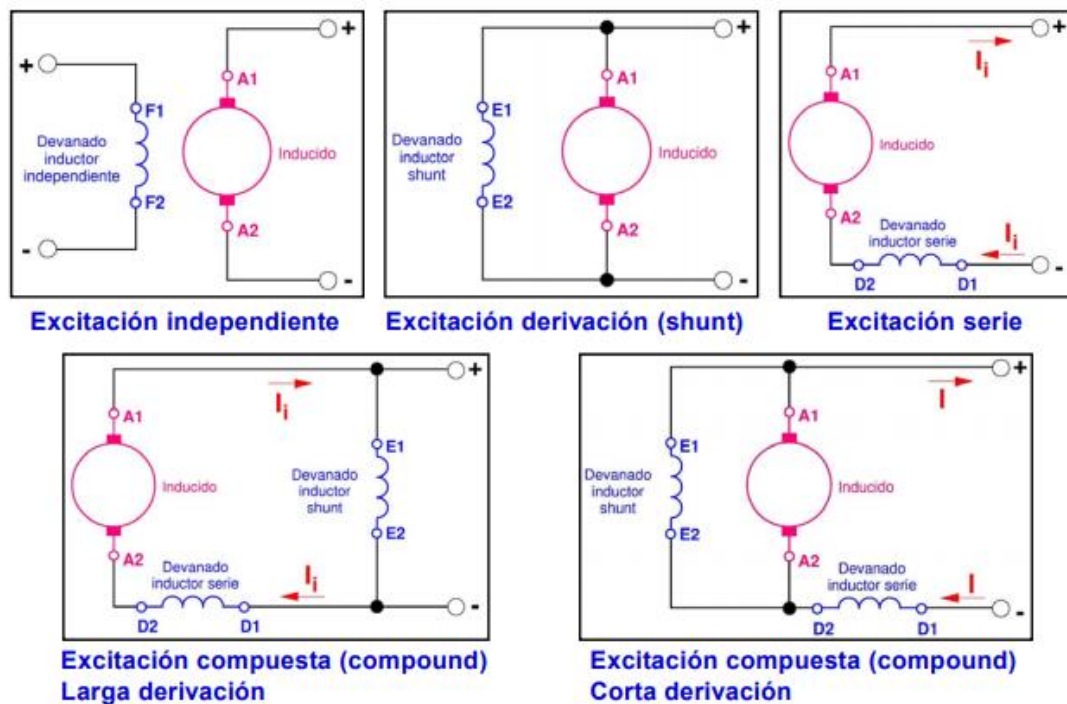


Figura 8 Tipos de excitación en bobinado inductor Fuente: [12]

Bobinado de conmutación [6]

Es conectado en serie con el circuito inducido, la corriente total producida por el dínamo es atravesada por los polos. Cada polo debe presentar la misma polaridad que el polo principal, esto en función del sentido de giro del inducido, se lo puede distinguir en la figura 9.

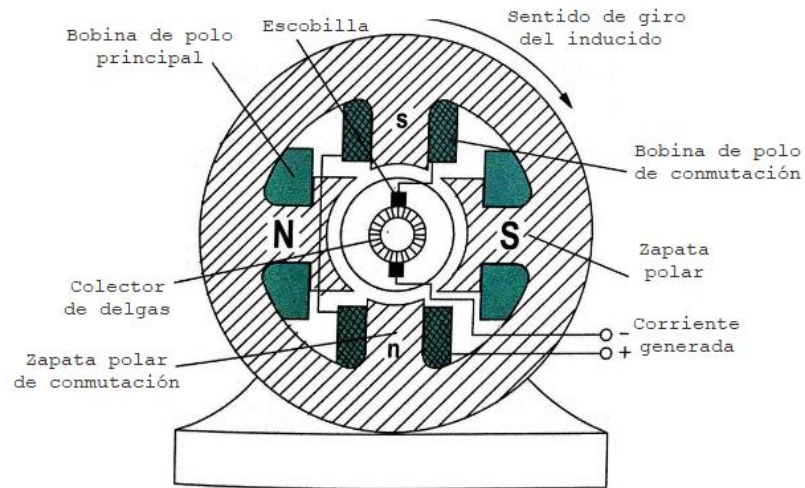


Figura 9. Bobinado auxiliar de conmutación Fuente: [6]

Bobinado inducido

Un paquete de chapas magnéticas constituye el núcleo rotórico, las cuales se presentan troqueladas adecuadamente con el fin de dar cabida al circuito inducido. Se encuentra sometido a un campo magnético y el campo es variable debido a que el rotor gira. Para obtener una corriente que se presente en positivo y negativo como las pilas, al colector de delgas es conectado el devanado inducido [6].

- **Diferencia entre generadores de CC y CA**

Los elementos que constituyen al generador de corriente continua y alterna son los mismos, la forma en que las bobinas están conectadas al circuito externo es el elemento que difiere. En CA los generadores llevan anillos colectores y en CC emplean un conmutador. También, se pueden construir máquinas pequeñas con un conmutador y anillos colectores, los mismos pueden trabajar como generadores de CA y CC [4].

Existe semejanza en las máquinas de CC y CA, debido que presentan voltajes y corrientes de CA dentro de ellas. Los generadores de CC tienen un mecanismo llamado

conmutador, el cual transforma los voltajes de CA en CC en sus terminales. Por tanto, reciben estas el nombre de “colector o conmutada”. [6]

- **Estator de polos salientes**

Se presenta como una parte fija del generador, el estator no presenta movimiento mecánico. Sin embargo, presenta movimiento magnético. Se constituye de un conjunto de láminas de acero al silicio (paquetes), por las cuales pasa ellas el flujo magnético. La parte metálica del estator y los devanados proveen los polos magnéticos, los cuales siempre son pares. [13]

En las máquinas de corriente continua, se presenta en el estator el inductor el cual es de polos salientes, mientras que el inducido está en el rotor y se aloja en sus ranuras el devanado. Conectados en tensión continua, se encuentran ambos devanados, sin embargo, el colector de delgas es el que envía tensión al devanado inducido, por tanto, la corriente que circula es alterna [8].

Los estatores pueden presentarse de tres tipos como se muestran en la figura 10.

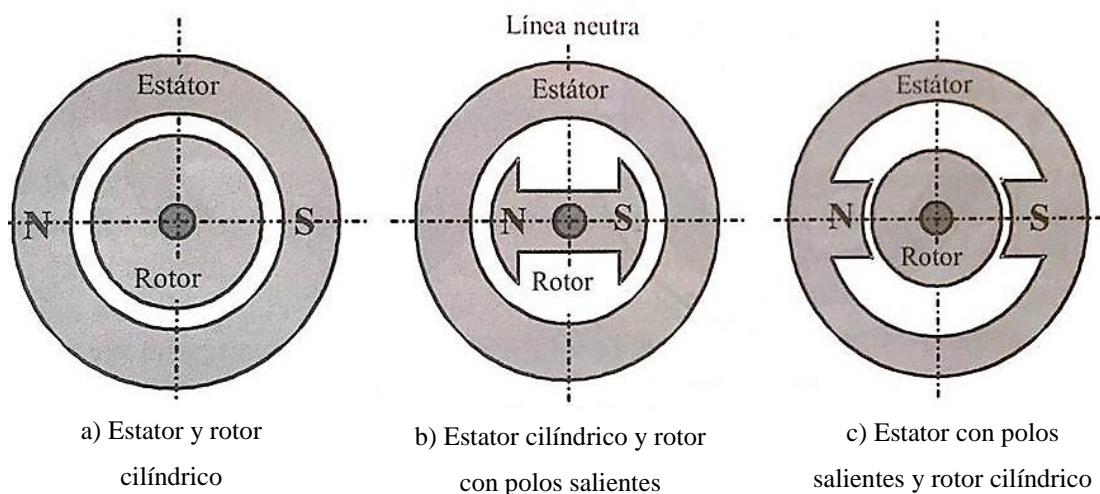


Figura 10. Configuraciones básicas de estator-rotor Fuente: [14]

- **Tipo de rotor**

Se presentan diferentes tipos de rotores como de polos salientes, jaula de ardilla o ranurado, en la figura 11 se representan de manera gráfica estos tipos más comunes de rotores.

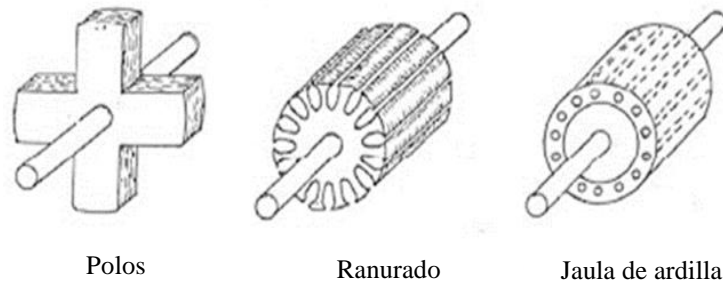
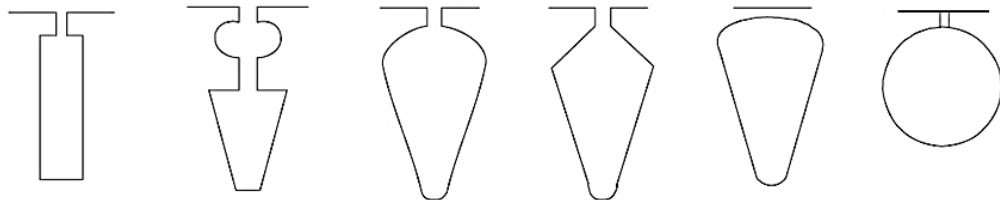


Figura 11. Tipos de rotores Fuente: [13]

Para el desarrollo de la investigación se parte con el rotor ranurado, debido a que en él se generará la inducción por medio de los imanes de neodimio. Sin embargo, se presentan configuraciones diferentes en las ranuras del rotor, esto en función de su aplicación y capacidad. En la figura 12, se presentan las diferentes geometrías que pueden ser empleadas en la construcción de las ranuras del rotor.



a) Rectangular b) Doble jaula c) Redondeado d) Polígono e) Cerrado d) Circular

Figura 12. Ranura típica del rotor de jaula Fuente: [15]

En la investigación realizada por [16], Effects of the Geometry of the Rotor Slots on the Mechanical Vibration of Three-phase Induction Motors, realiza una comparación entre un ranurado rectangular y uno circular, en el cual la forma circular presenta una menor desviación de la vibración que la forma rectangular como se muestra en la figura 13.

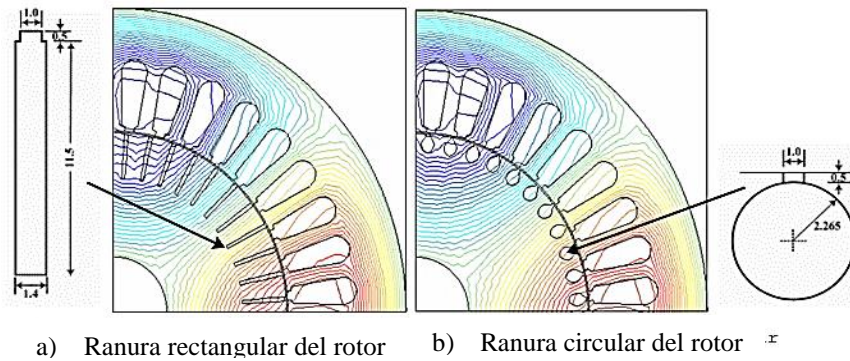


Figura 13. Líneas de flujo en variación de geometría Fuente: [16]

Sin embargo, estas comparaciones no hacen referencias a otros parámetros que influyen en la selección de la geometría. Un factor de relevancia es el “Efecto de revestimiento en ranuras” (The skin effect in windings), este fenómeno distribuye de manera desigual las densidades de corriente en el área de sección transversal del conductor. Este efecto aumenta la resistencia de los conductores y produce pérdidas significativas en el conductor. [17]

La ranura redondeada de la figura 12 (forma c), son comúnmente empleadas por la distribución de corriente en el rotor debidas a las corrientes de Foucault (es un fenómeno eléctrico que es producido cuando un conductor atraviesa un campo magnético variable), las cuales son aprovechadas en dicha configuración, son típicas para el torque de arranque medio (alrededor del valor nominal) en los IM (motores de inducción) de pequeña potencia y asegurar la densidad constante del flujo dentado [16] [15]. Por tanto, se toma como geometría la forma de polígono.

- **Número de ranuras**

Para la determinación del número de ranuras se puede emplear ecuación y verificar el resultado o seleccionar un número de ranuras de la tabla 1. En dicha tabla se hace relación al número de pares de polos ($2p$), el número de ranuras del estator (N_s) y el número de ranuras del rotor (N_r) dando las conminaciones más adecuadas [15].

Tabla 1. Número de ranuras de estator/rotor

$2p_1$	N_s	N_r – skewed rotor slots
2	24	18, 20, 22, 28, 30, 33, 34
	36	25, 27, 28, 29, 30, 43
	48	30, 37, 39, 40, 41
4	24	16, 18, 20, 30, 33, 34, 35, 36
	36	28, 30, 32, 34, 45, 48
	48	36, 40, 44, 57, 59
	72	42, 48, 54, 56, 60, 61, 62, 68, 76
6	36	20, 22, 28, 44, 47, 49
	54	34, 36, 38, 40, 44, 46
	72	44, 46, 50, 60, 61, 62, 82, 83
8	48	26, 30, 34, 35, 36, 38, 58
	72	42, 46, 48, 50, 52, 56, 60
12	72	69, 75, 80
	90	86, 87, 93, 94

Fuente: [15]

Para este proyecto se emplea un rotor con un número de 24 ranuras considerando en cálculos posteriores que dicho valor depende de criterios de diseño, así como el

número y tamaño de los imanes para que el campo magnético ocupe una bobina completa.

- **Núcleo del rotor**

Para su construcción son empleadas láminas de acero al silicio M19 (AISI) y M290-50^a (DIN EN 10106) de entre 0,35 mm, 0,5 mm y 0,65 mm de espesor, las cuales reducen las pérdidas por corrientes parásitas. Son de grano no orientado cuya configuración permite que en cualquier dirección se mantengan las mismas propiedades magnéticas, ideales para motores y generadores laminados. Su clasificación se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Grados de acero eléctrico

		TRAN-COR		Orientado				No orientado							
		H-0 and H-0 DR	H-1 and H-1 DR	M-2	M-3	M-4	M-6	M-15	M-19	M-22	M-27	M-36	M-43	M-45	M-47
Transformadores	Gran potencia	*	*	*	*	*	*								
	Distribución de alta eficiencia	*	*	*	*	*	*								
	Distribución de tipo seco					*	*	*	*	*					
	Actual (Instrumento)					*	*								
	Regulador de voltaje					*	*	*	*	*	*	*			
	Iluminación (lastre)					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Soldadura y cargador de batería					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Variable ajustable				*	*	*								
	Televisión y potencia electrónica					*	*	*	*						
	Audio y ahogamientos					*	*	*	*	*	*				
Motores y Generadores	Gran rotación (más de 200 HP)					*	*	*	*						
	Integral de Eficiencia Estándar (1-200 HP)									*	*	*	*	*	
	Integral de alta eficiencia (1-200 HP)							*	*	*	*	*			
	Fraccional industrial												*	*	
	Electrodoméstico y refrigerador												*	*	
	En espera y pequeños generadores							*	*	*	*	*			

Fuente: [18]

El acero al carbono presenta una gran permeabilidad, sin embargo, posee mayores pérdidas por corrientes parásitas e histéresis [20]. Se realizó una comparación en software, en el cual se presentó la densidad de flujo producida por el campo magnético de los imanes de neodimio respecto al rotor de acero AISI 1010 y acero al silicio M19 (AISI), como se muestra en la figura 14.

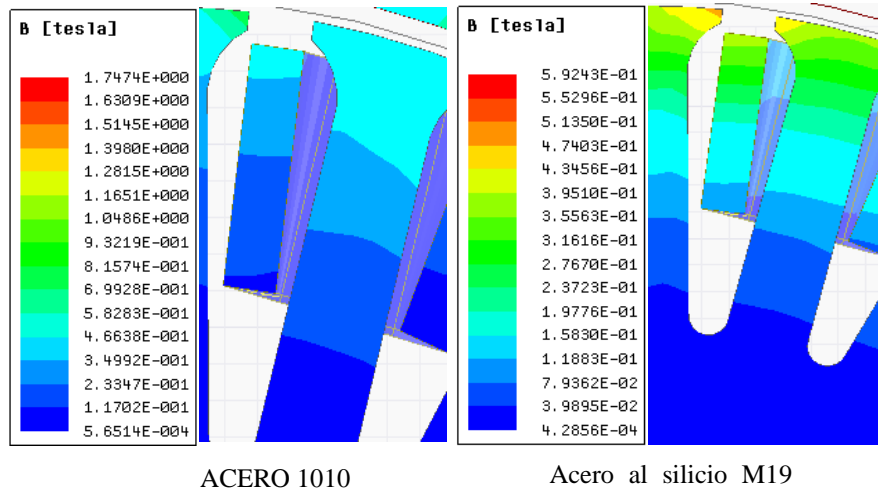


Figura 14. Comparación de la densidad de flujo magnético Fuente: Autor

Esta fue una de las consideraciones que se tomó para la fabricación del rotor, debido a que el acero al silicio M19 (AISI) presenta una densidad de flujo magnético más alta en relación al acero AISI 1010 (ASTM A36). La cual es requerida para los cálculos posteriores que determinarán las dimensiones del generador.

Para la selección del acero A36 como material del rotor también se consideró el tipo de proceso para la realización del ranurado de las láminas, debido a que el proceso de fabricación por troquelado requerido en las láminas de acero al silicio resulta costoso para un solo generador. Se optó de acero A36 para la realización de las ranuras con un proceso de corte por láser.

- **Cálculos para el dimensionamiento del rotor**

Para el diseño del generador se toman los valores ya conocidos los cuales son:

Tabla 3. Datos conocidos para el diseño del generador

Datos	Símbolo	Valor
<i>Revoluciones por minuto</i>	n_s	600 rev/min
<i>Frecuencia</i>	f	60 Hz
<i>Potencia</i>	P	1,3 kW
<i>Diámetro del rotor</i>	D_r	0,115 m
<i>Número de fases</i>	m	1
<i>Voltaje</i>	V	48 V

Fuente: Autor

Se considera como dato el diámetro del rotor D_r , debido a que es conocido. Puesto que se reutilizarán las partes de un motor de C.C. de dos polos.

- **Número de imanes [10]**

Se determina el número de polos mediante la ecuación (Ec. 1).

$$2p = \frac{120 * f}{n_s} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$2p = \frac{120 * 60}{600}$$

$$2p = 12$$

Corroborando el número de polos propuestos por la tabla 17 que propone un número igual de imanes para el diseño.

- **Paso de ranura τ_r [10]**

Al contar con el dato del número de ranuras N_r se obtiene dividiendo la periferia del Air-gap (entrehierro) para el número de ranuras.

$$\tau_r = \frac{\pi * D_r}{N_r} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$\tau_r = \frac{\pi * 0,115}{24}$$

$$\tau_r = 0,015 \text{ mm}$$

- **Paso polar τ_p [10]**

El paso polar es la distancia existente entre dos polos consecutivos y es determinada mediante:

$$\tau_p = \frac{\pi * D_r}{p} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$\tau_p = \frac{\pi * 0,115}{12}$$

$$\tau_p = 0,030 \text{ mm}$$

- **Deslizamiento (slip) s [10]**

Representa una medida como una longitud de arco. La cual puede ser similar a paso de ranura τ_u , o ser representada por la ecuación (Ec. 4):

$$s = \frac{\tau_p}{N_r/p} \quad (\text{Ec. 4})$$

$$s = \frac{0,030}{24/12}$$

$$s = 0,015 m$$

- **Bobinado monofásico concéntrico por polos**

- **Bobinado por polos [10]**

Este bobinado se da cuando el final del grupo de la primera bobina (F1) es conectado con el final de la siguiente (F2) y el principio de un grupo (I1), con el principio de la siguiente (I2), sin conectar el principio del primer grupo y el principio del último, los mismos serán el principio y final de la fase como se ilustra en la figura 15 [19].

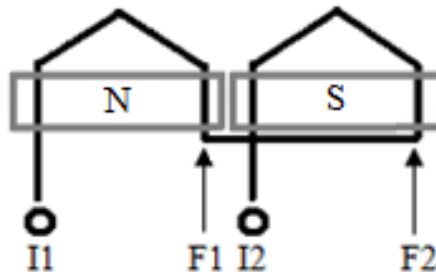


Figura 15. Bobinado por polos Fuente: Autor

La forma en la cual se realizó el bobinado se detalla en el anexo A. 6

- **Ranura que ocupa el bobinado por polo magnético y por fase**

$$K_{pq} = \frac{Q_r}{2_{pq}} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

K_{pq} = Ranuras que ocupan el bobinado por polo magnético y por fase.

Q_r = Número de ranuras.

2_{pq} = Número de grupos por fase por el número de fases.

- **Número de ranuras por polo y por fase [10]**

Para el diseño de este generador se tomará un número de 24 ranuras, para la posibilidad de ejecución. Y se determina una fase ($m = 1$) debido a que el colector de delgas es de 2 anillos para la obtención de C.A.

$$q_r = \frac{Q_r}{2p * m} \quad (\text{Ec. 6})$$

$$q_r = \frac{24}{12 * 1}$$

$$q_r = 2$$

Reemplazando los valores conocidos en la ecuación (Ec. 5) se obtiene:

$$K_{pq} = \frac{24}{2(6 * 1)}$$

$$K_{pq} = 1$$

- **Número de bobinas [10]**

Bobinado de una capa: El número de bobinas es la mitad del número de ranuras.

$$B = \frac{Q_r}{2} \quad (\text{Ec. 7})$$

$$B = \frac{24}{2}$$

$$B = 12$$

- **Paso polar por ranura [10]**

Es la distancia entre 2 polos consecutivos (número correspondiente de ranuras por polo como se aprecia en la figura 16)

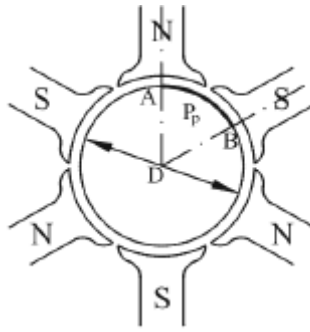


Figura 16 Paso polar Fuente: [19]

Para determinar este paso polar se emplea la ecuación (Ec. 8):

$$Y_p = \frac{Q_r}{2p} \quad (\text{Ec. 8})$$

$$Y_p = \frac{24}{2(6)}$$

$$Y_p = 2$$

- **Número de escobillas [10]**

En bobinados ondulados lo aceptable y recomendado es colocar dos líneas de escobillas (una de cada signo). Se utilizará un número de 2 delgas para obtener corriente alterna a la salida del generador.

- **Factor de bobinado del rotor k_w [20]**

El factor de bobinado es empleado para reducir pérdidas de eficiencia y mejorar el voltaje de salida. Se requiere de este valor para la determinación de la constante mecánica (C_{mec}) requerida para cálculos posteriores del diámetro del rotor.

$$k_w = \sin\left(\frac{s}{\tau_p} * \frac{\pi}{2}\right) \quad (\text{Ec. 9})$$

$$k_w = \sin\left(\frac{14,45}{30,10} * \frac{\pi}{2}\right)$$

$$k_w = 0,9078$$

- **Diámetro del rotor D_r [20]**

Al contar con el valor del diámetro del rotor de 115 mm se procede a obtener mediante interpolación los valores que den dicho resultado. Con el fin de determinar valores de

potencia mecánica y constante mecánica requeridos para el diseño del rotor y estator, empleando la ecuación (Ec. 10):

$$D = \sqrt[3]{\frac{P_{mec}}{x * C_{mec} * n_{syn}}} \quad (\text{Ec. 10})$$

P_{mec} = Potencia mecánica

C_{mec} = Constante de potencia mecánica de la máquina

n_{syn} = Velocidad de sincronismo

x = Relación equivalente longitud – diámetro de air-gap

La velocidad de sincronismo (n_{syn}) es igual a la frecuencia sobre los polos.

$$n_{syn} = \frac{f}{p} \quad (\text{Ec. 11})$$

$$n_{syn} = \frac{60}{12}$$

$$n_{syn} = 5 \text{ rad/s}$$

- **Relación longitud equivalente – diámetro de air-gap [20]**

Para la determinación del valor x , se utiliza la fórmula para máquinas síncronas $p > 1$ dada en el anexo A. 1

$$x = \frac{\pi}{4 * p} * \sqrt{p} \quad (\text{Ec. 12})$$

$$x = \frac{\pi}{4 * 6} * \sqrt{6}$$

$$x = 0,3206$$

- **Constante mecánica C_{mec} [20]**

Esta constante mecánica para máquinas rotativas (síncronas y asíncronas) puede ser determinada mediante la ecuación (Ec. 13):

$$C_{mec} = \frac{\pi^2}{\sqrt{2}} * k_w * A * \hat{B}_\delta \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

A = Densidad de corriente lineal

\hat{B}_δ = Densidad de flujo del entrehierro.

Ambos valores de densidad de flujo son determinados mediante el anexo A. 2 y anexo A. 3. Bajo recomendaciones de diseño en [20]; se toman valores menores de A para máquinas pequeñas y valores altos para máquinas de mayor tamaño. Por tanto, se utilizará un valor de 45 kA/m para el diseño. Para los valores de la densidad de corriente lineal se consideran los valores de Air gap que van de 0,85 a 1,05. Considerando que se tiene como dato el valor de $D_r = 0,115 \text{ m}$, se realiza una interpolación de datos variando la potencia para obtener dicho valor de D_r en función de la constante mecánica.

Tabla 4. Cálculo del diámetro D_r en función de la potencia mecánica

$P_{mec} \text{ 0,75 kW}$			
$C_{mec} \text{ Kw/m}^3$	$A \text{ kA/m}$	$\hat{B}_\delta \text{ [T]}$	$D_r \text{ m}$
257,519	45	0,85	0,07994
272,667	45	0,9	0,07844
287,815	45	0,95	0,07703
302,963	45	1	0,07573
318,111	45	1,05	0,07451
$P_{mec} \text{ 1,1 kW}$			
257,519	45	0,85	0,11725
272,667	45	0,9	0,11504
287,815	45	0,95	0,11298
302,963	45	1	0,11107
318,111	45	1,05	0,10928
$P_{mec} \text{ 1,25 kW}$			
257,519	45	0,85	0,13324
272,667	45	0,9	0,13073
287,815	45	0,95	0,12839
302,963	45	1	0,12621
318,111	45	1,05	0,12418

Fuente: Autor

La densidad de corriente lineal y la densidad de flujo dependen del tamaño del generador de tal manera que aumentan a medida que aumenta el tamaño de la misma. Por tanto, el valor de la constante mecánica también se encuentra en función del tamaño del generador. El valor de la densidad de flujo del entrehierro se puede aproximar un valor más real al simularlo en software, obteniendo un valor aproximado al utilizado para la determinación del diámetro del generador.

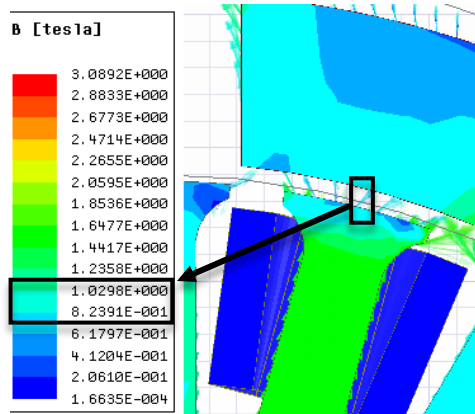


Figura 17 Densidad de campo magnético Fuente: Autor

Interpolando los valores obtenidos más próximos para el valor de $D_r = 115 \text{ mm}$, y con una potencia de 1,1 kW mecánica, los resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados de la interpolación del diámetro y potencia.

Constante mecánica	C_{mec}	272,9009 Kw/m³
Densidad de corriente lineal	A	45 kA/m
Densidad de flujo del entrehierro	\hat{B}_δ	0,9008 T

Fuente: Autor

El valor de la longitud efectiva del núcleo es determinado al multiplicar el valor de x por el diámetro D_r .

$$x = l'/D_r \quad (\text{Ec. 14})$$

$$l' = 0,3206 * 0,115$$

$$l' = 0,036 \text{ m}$$

- **Entrehierro (Air-gap) [20]**

El entrehierro es el espacio de aire que existe entre el rotor bobinado y los imanes.

$$\delta_0 = \gamma * \tau_p \frac{A}{\hat{B}_\delta} \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde:

γ = coeficiente para definir el air-gap.

El coeficiente γ se determina de acuerdo al tipo de que se presenta en el anexo A. 4.

Se determina un valor de $\gamma = 7,0 \times 10^{-7}$, que es para máquinas síncronas del air-gap constante de polos salientes. Remplazando los valores obtenidos en la ecuación (Ec. 15), se determina un valor de entrehierro de:

$$\delta_0 = 7,0 \times 10^{-7} * 0,030 * \frac{45 \times 10^3}{0,9008}$$

$$\delta_0 = 0,00105 \text{ m}$$

Para el diseño de este generador el valor del air-gap se ocupará un valor de 1 mm.

- **Diámetro del estator [20]**

El diámetro del estator se lo puede determinar al sumar dos veces el espacio del entrehierro al diámetro del rotor.

$$D_s = D_r + 2\delta_0 \tag{Ec. 16}$$

$$D_s = 0,115 + 2(1)$$

$$D_s = 0,117 \text{ m}$$

Este diámetro se considera desde la cara de un imán hasta la de opuesta a el mismo

- **Dimensionamiento de ranuras [15]**

Para un mejor entendimiento de la nomenclatura se presenta en la figura 18 la geometría de las ranuras del rotor.

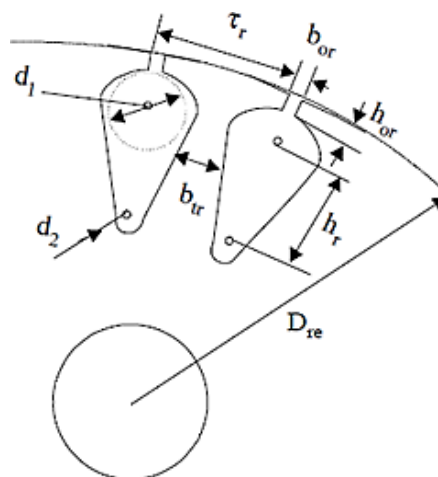


Figura 18. Geometría de las ranuras del rotor Fuente: [15]

Para el dimensionamiento de las ranuras se asumen dos valores de entrada para el diseño, los cuales son:

$$h_{or} = 1 \times 10^{-3} m$$

$$b_{or} = 4 \times 10^{-3} m$$

- **Ancho de diente b_{tr} [15]**

$$b_{tr} = \frac{\widehat{B}_\delta}{K_{Fe} * B_{tr}} * \tau_r \quad (\text{Ec. 17})$$

Donde:

K_{Fe} = Factor de apilamiento

B_{tr} = Densidad de flujo del diente

Para el factor de apilamiento se pueden tomar valores de $K_{Fe} = 0,9 - 0,95$ para espesores de laminación de entre $0,35 - 0,5 \text{ mm}$. Considerando que son conocidos los valores del ancho del diente b_{tr} . Se interpolarán los valores hasta obtener $5,19 \text{ mm}$ correspondientes al mismo.

$$b_{tr} = \frac{0,9008}{0,95 * 2,65} * 0,015$$

$$b_{tr} = 0,006 \text{ m}$$

- **Diámetro superior de la ranura d_1 [15]**

La determinación del diámetro superior d_1 de la ranura viene dada por la ecuación (Ec. 18):

$$d_1 = \frac{\pi(D_r - 2h_{or}) - N_r b_{tr}}{\pi - N_r} \quad (\text{Ec. 18})$$

$$d_1 = \frac{\pi(0,115 - 2(0,004)) - 24 * 0,006}{\pi - 24}$$

$$d_1 = 0,008 \text{ m}$$

- **Diámetro inferior de la ranura d_2 [15]**

Se asume un valor de $h_r = 0,00185 \text{ m}$ para el diseño.

$$d_1 - d_2 = 2h_r \tan \frac{\pi}{N_r} \quad (\text{Ec. 19})$$

$$d_2 = d_1 - 2h_r \tan \frac{\pi}{N_r}$$

$$d_2 = 0,008 - 2(0,0185) \tan \frac{\pi}{24}$$

$$d_2 = 0,0032 \text{ m}$$

Se utiliza un valor cerrado inferior para el diseño de este diámetro $d_2 = 0,003 \text{ m}$.

- **Diseño mecánico**

En la tabla 6, se presentan las condiciones de trabajo y los resultados que se obtuvieron de las turbinas Pelton y Michell-Banki en las investigaciones realizadas por [21] [22], en las cuales se emplearon en sus sistemas turbobombas.

Tabla 6 Condiciones de trabajo de las turbinas Pelton y Michell Banki

		Turbina Pelton	Michell-Banki
Diámetro de polea conductora	in	8,00	4,00
	m	0,203	0,101
Potencia transmitida	kW	4,18	2,86
	Hp	5,60	3,84
Revoluciones	rpm	470,00	694,00
Altura de trabajo	m	15,00	9
Horas de trabajo	h	8-16	8-16
Caudal máximo	m^3/h	72	120

Fuente: [21] [22]

Sin embargo, en este proyecto la altura a la cual operarán estas turbinas es de 30 m. Utilizando la energía hidráulica de la cascada “El Silencio” ubicada en la parroquia Ulba en el canto Baños de Agua Santa. Se determinan los valores más altos de caudal y rpm que entregan cada turbina y se determina su potencia entregada.

- **Potencia que el fluido transmite P_T [23]**

$$P_T = h_{RY} Q \eta \quad (\text{Ec. 20})$$

Donde:

h_R es determinada por medio de la ecuación general de la energía

γ = Peso específico del agua a 20 °C.

Q = Caudal m^3/s

η = Eficiencia de la turbina (Este valor fue determinado por la investigación realizada por [21].)

Se realiza una representación gráfica en la figura 19 de la altura y longitud de la tubería a la cual se realizarán la toma de datos.

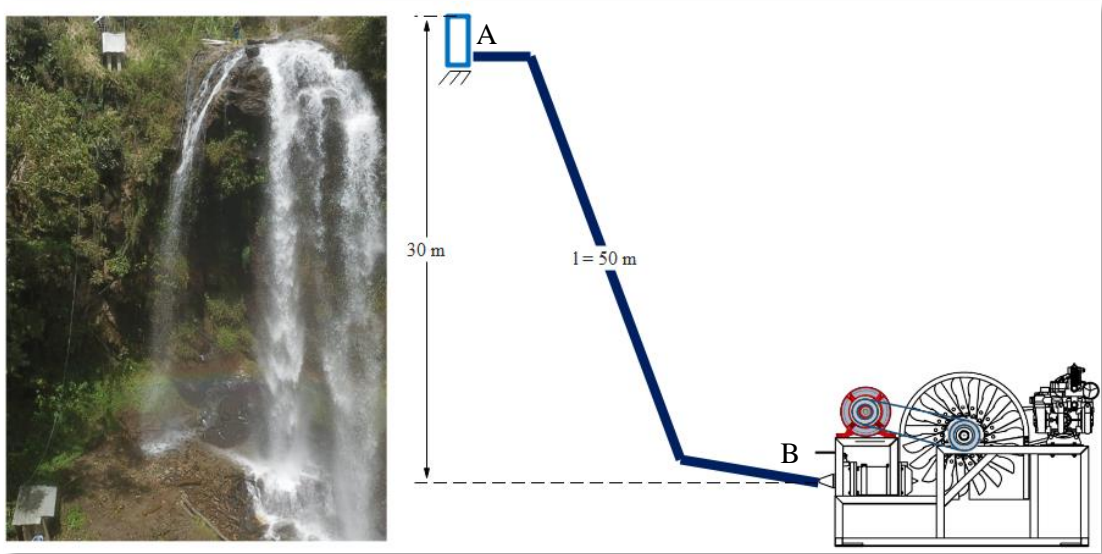


Figura 19. Representación gráfica de las condiciones de trabajo de la turbina Pelton Fuente: Autor

- **Pérdidas por fricción de la tubería. [23]**

$$h_f = f \left(\frac{L}{D_i} \right) \left(\frac{Q^2}{2g * A^2} \right) \quad (\text{Ec. 21})$$

- **Factor de fricción. [23]**

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7(D/\epsilon)} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (\text{Ec. 22})$$

- **Rugosidad relativa ϵ [23]**

El valor de la rugosidad relativa se determina en el anexo B. 1.

$$D/\epsilon = (1,02e - 1m)/(1,50e - 6m) \quad (\text{Ec. 23})$$

$$D/\epsilon = 6,80e4$$

• **Número de Reynolds Re . [23]**

$$Re = \frac{Q * D_i}{A * \nu} \quad (\text{Ec. 24})$$

Donde:

D_i = Diámetro interno de la tubería (Polietileno de baja densidad)

A = Área de la sección transversal de la tubería m^2

ν = Viscosidad cinemática $1,02e - 6 m^2/s$ para agua a $20^\circ C$

$$Re = \frac{0,02 * 1,02e - 1}{0,0081 * 1,02e - 6}$$

$$Re = 2,44e5$$

Reemplazando los valores obtenidos en las ecuaciones (Ec. 23) y (Ec. 24) en (Ec. 22) se obtiene:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7(6,80e4)} + \frac{5,74}{(2,44e5)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,015$$

Los valores obtenidos son reemplazados en la ecuación (Ec. 21)

$$h_f = 0,0133 \left(\frac{50}{1,02e - 1} \right) \left(\frac{0,02^2}{2(9,81) * 0,0081^2} \right)$$

$$h_f = 2,25 m$$

Este valor de pérdidas por fricción se reemplaza en la ecuación (Ec. 20).

$$P_T = (30 - 2.25)(9810 * 0,02 * 0,91)$$

$$P_T = 4,95 \text{ kW}$$

De manera similar se presentan las características de funcionamiento de la turbina Michell-Banki a las condiciones que fue expuesta y sus resultados en la tabla 7.

Tabla 7. Datos obtenidos a 30 m de altura.

Datos		Unidades	Referencias
Diámetro	1,02e-1	m	Autor
Caudal	0,033	m ³ /s	Autor
Rugosidad absoluta	1,50e-6	m	Anexo
Área	0,00819	m ²	Autor
Viscosidad cinemática	1,02e-6	m ² /s	Anexo
Longitud de tubería	50	m	Autor
Altura	30	m	Autor
D/ε	6,80e4		(Ec. 23)
Re	4,03e5		(Ec. 24)
f	0,013		(Ec. 22)
hf	5,61	m	(Ec. 21)
Eficiencia	0,8		[22]
Potencia	6,32	kW	(Ec. 20)

Fuente: Autor

Se presentan los datos obtenidos de la turbina Michell-Banki de caudal y rpm en la tabla 8

Tabla 8. RPM y caudal obtenidos en campo de la turbina Michell-Banki

RPM	Caudal m ³ /h
500	76,71
600	85
700	88
800	89
900	97
1000	110
1100	120

Fuente: Autor

Con esta condición de trabajo se obtuvieron los resultados expuestos en la tabla 9.

Tabla 9. Condiciones de trabajo Pelton y Michell Banki a 30m de altura

		Turbina Pelton	Michell-Banki
Diámetro de polea conductora	in	8,00	4,00
	m	0,203	0,101
Potencia transmitida	kW	4,95	6,32
	Hp	6,64	8,48
Revoluciones	rpm	900	1100
Altura de trabajo	m	30	30

Fuente: Autor

Al identificar las condiciones de trabajo de ambas turbinas se procede a diseñar el eje con los datos de la turbina Michell-Banki, debido a que la misma presenta una potencia transmitida de 6,32 *kW*.

- **Transmisión de potencia [24]**

La transmisión de potencia se la realiza por medio de polea-banda, con el objetivo de facilitar el montaje del generador mediante el temple de la banda.

- **Diámetro de la polea conducida [24]**

Se inicia determinando el diámetro de la polea conducida con los datos antes mencionados.

$$n_1 * D_1 = n_2 * D_2 \quad (\text{Ec. 25})$$

Donde:

n_1 = número de revoluciones de la polea conductora

D_1 = Diámetro de la polea conductora

n_2 = número de revoluciones de la polea conducida

D_2 = Diámetro de la polea conducida

Reemplazando los valores de la tabla 9. Considerando que las revoluciones requeridas para el generador son de 600 *rpm* y debido a que se puede obtener mayor voltaje a mayor *rpm*, se considera como valor de diseño a 900 *rpm* para la turbina Pelton.

$$950 * 0,1016 = 900 * D_2 \quad (\text{Ec. 26})$$

$$D_2 = 0,1778 \text{ m}$$

Aproximando este resultado a un valor cerrado en unidades inglesas se obtiene un diámetro de 5 in. Con este diámetro de la polea conducida (D_2) se procede a obtener la relación de transmisión para la determinación de la longitud primita de la correa mediante la ecuación (Ec. 27):

$$i = \frac{D_1}{D_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (\text{Ec. 27})$$

$$i = 8/7$$

$$i = 1,143$$

- **Potencia efectiva [24]**

$$P_e = P_T * C_C \quad (\text{Ec. 28})$$

Donde

P_e = Potencia efectiva.

P_T = Potencia de la turbina.

C_C = Coeficiente de corrección.

Para la determinación del coeficiente de corrección se emplea el anexo B. 2. Se determina un valor de 1,2 debido a que sus horas de trabajo oscilan entre 8h a 16h de funcionamiento diario y es aplicado para generadores.

$$P_e = 4,95 \text{ kW} * 1,2 \quad (\text{Ec. 29})$$

$$P_e = 5,94 \text{ kW}$$

Obtenido el dato de la potencia y con la velocidad de trabajo de 900 rpm, se emplea el anexo B. 3. Del cual se determinó una correa tipo B.

- **Longitud primitiva de la correa [24]**

La distancia entre centros es desconocida debido a que la posición en la que se colocará el generador en relación a la turbina varía por el temple de la banda, sin embargo, se tomó un valor aproximado de $C_1 = 600 \text{ mm}$, para realizar una primera aproximación tomando en consideración que:

$$L_p = \pi \left(\frac{D_1 + D_2}{2} \right) + \frac{(D_1 - D_2)^2}{4C_1} + 2C_1 \quad (\text{Ec. 30})$$

Donde:

D_1 = Diámetro de la polea mayor (conductora)

D_2 = Diámetro de la polea menor (conducida)

C_1 = Distancia entre centros

En la figura 20 se muestra la disposición existente de la polea de la turbina Pelton hacia el generador de imanes permanentes de neodimio.

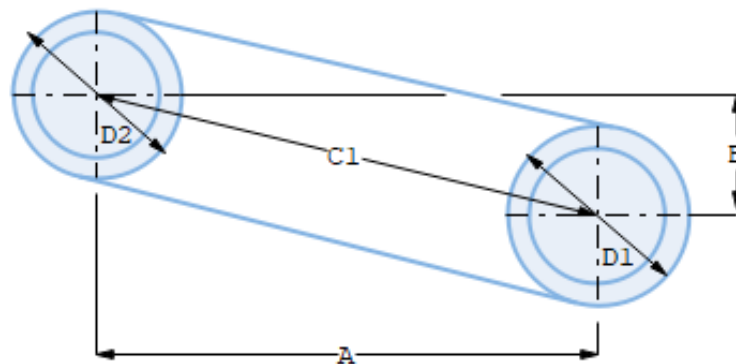


Figura 20. Poleas – Banda de la turbina Pelton al generador Fuente: Autor

Reemplazando los valores conocidos se obtiene:

$$L_p = \pi \left(\frac{203,2 + 177,8}{2} \right) + \frac{(203,2 - 177,8)^2}{4(600)} + 2(600)$$

$$L_p = 1544,49 \text{ mm} = 1,54 \text{ m}$$

Este valor es utilizado en el anexo B. 4, se determina un tipo de banda B60 la cual presenta un valor de $L_p = 1568 \text{ mm}$, utilizando nuevamente la ecuación (Ec. 30), se despeja C_1 para identificar su nuevo valor.

$$0 = C_1^2 - C_1 \left(\frac{L_p}{2} - \frac{\pi}{4} (D_1 + D_2) \right) + \frac{(D_1 - D_2)^2}{8}$$

$$C_1 = \left(\frac{L_p}{4} - \frac{\pi}{8} (D_1 + D_2) \right) \pm \sqrt{\left(\frac{L_p}{4} - \frac{\pi}{8} (D_1 + D_2) \right)^2 - \frac{(D_1 - D_2)^2}{8}}$$

$$C_1 = \left(\frac{1568}{4} - \frac{\pi}{8}(203,2 + 177,8) \right) \pm \sqrt{\left(\frac{1568}{4} - \frac{\pi}{8}(203,2 + 177,8) \right)^2 - \frac{(203,2 - 177,8)^2}{8}}$$

$$C_1 = 484,59 \cong 485 \text{ mm} = 0,485 \text{ m}$$

- **Ángulo entre ramales**

$$\alpha_2 = 2 \operatorname{arcsen} \left(\frac{D_1 + D_2}{2C_1} \right) \left(\frac{180^\circ}{\pi} \right) \quad (\text{Ec. 31})$$

$$\alpha_2 = 2 \operatorname{arcsen} \left(\frac{203,2 + 177,8}{2 * 1568} \right) \left(\frac{180^\circ}{\pi} \right)$$

$$\alpha_2 = 3^\circ$$

- **Ángulo abrazado por la polea pequeña**

$$\beta_2 = 180 - \alpha_2 \quad (\text{Ec. 32})$$

$$\beta_2 = 180 - 3$$

$$\beta_2 = 177^\circ$$

En la figura 21, se representan los ángulos calculados entre ramales α_2 y el abrazado por la polea pequeña β_2 .

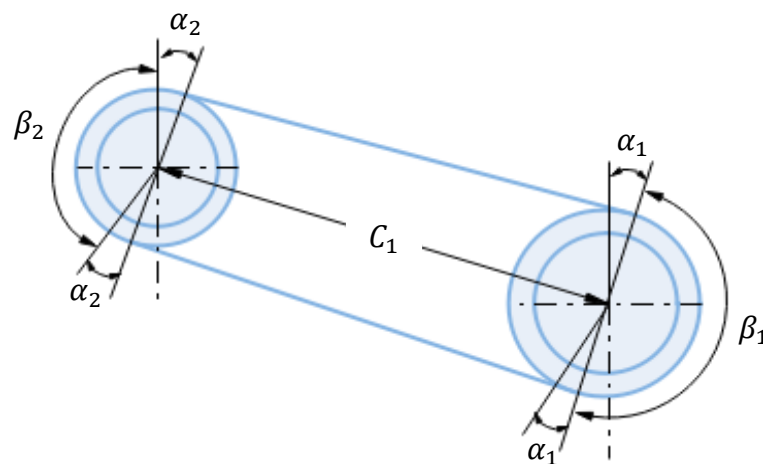


Figura 21 Ángulos de las poleas Fuente: Autor

- **Potencias transmitidas por las correas [24]**

Se determina por medio de la ecuación (Ec. 33):

$$P_a = (P_b + P_d) * C_\gamma * C_L \quad (\text{Ec. 33})$$

Donde:

P_a = potencia que transmiten las correas (kW)

P_b = Prestaciones básicas de la potencia (kW)

P_d = Prestación adicional de la potencia (kW)

C_γ = Factor de corrección

C_L = Factor de corrección en función del tipo y longitud de la correa

Para los valores de las prestaciones básicas de la potencia P_b de las correas tipo A se utiliza el anexo B. 5, las prestaciones adicionales P_d son determinadas en el anexo B. 6. Mediante interpolación se obtienen los valores de la potencia transmitida $P_b = 5,79 \text{ kW}$, y un valor de $P_d = 0,36 \text{ kW}$. El factor de corrección C_γ es determinado en el anexo B. 7, utilizando el ángulo abrazado por la polea pequeña. Interpolando el valor de $\beta_2 = 177^\circ$ se obtiene $C_\gamma = 0,849$. Para el valor de C_L , se utiliza el anexo B. 8, en el cual se utiliza la longitud de la correa en pulgadas que es de 61,73 in. Se determina un valor de $C_L = 0,916$.

Estos valores obtenidos, al ser reemplazados en la ecuación (40). se obtiene:

$$P_a = (5,79 + 0,36) * 0,849 * 0,916$$

$$P_a = 4,783 \text{ kW}$$

- **Número de polea [24]**

Las poleas necesarias para la transmisión de la potencia son determinadas mediante la ecuación (Ec. 34).

$$n = \frac{P}{P_a} \quad (\text{Ec. 34})$$

$$n = \frac{6,32}{4,783}$$

$$n = 1,035 \approx 2$$

Se redondea a 2 debido a que los números de las correas aumentarán su factor de seguridad. El factor de seguridad es determinado al multiplicar la potencia que

transmiten las poleas P_a multiplicado por el número de correas, dividido para la potencia que transmite la turbina.

$$\eta = \frac{P_a * n}{P} \quad (\text{Ec. 35})$$

$$\eta = \frac{4,783 * 2}{4,95}$$

$$\eta = 1,93$$

- **Datos polea Michell-Banki**

En la tabla 10 se presenta en resumen los valores obtenidos para la selección de la polea para la turbina Michell-Banki

Tabla 10. Datos de la polea para la turbina Michell-Banki

Potencia requerida	Pr (kW)	7,584
Sección de las correas	TIPO	A
Dis. Entre ejes asumido	C (m)	0,215
Longitud de la correa necesaria	Lp (m)	0,791
Dis. Entre ejes real	C1 (m)	0,6
Longitud de la correa necesaria	Lp (m)	1,544
Correa más adecuada/Lp	Tipo	A 60
	Lp (m)	1,558
Cálculo de fuerzas		
Ángulo de contacto	α_2	3,184
Potencia permitida	H (hp)	3,078
	H t (kW)	2,296
Ángulo abrazado por la polea mayor	β_2	182,43
Potencia permitida por banda	Ha (HP)	2,912
	KW	2,17
Factores de servicio	ks	1,2
Factor de diseño-asumido	ns	0,5
Potencia del diseño	Hd (hp)	5,085
	KW	3,79
# Correas	nb	1,75
		2

Fuente: Autor

- **Diseño del eje [24]**

Se procede a determinar el diámetro mínimo para el eje y su factor de seguridad. Como se mencionó con anterioridad, la turbina Pelton es la que presenta una mayor potencia de transmisión. Por tanto, se realizará todo el diseño del eje basándose en los datos de la misma.

El diseño del eje se lo realizará con acero AISI 1020 estirado en frío (CD) por recomendaciones de [24] y cuyas propiedades del material se presentan en la tabla 11.

Tabla 11. Propiedades mecánicas del acero AISI 1020

Propiedades mecánicas acero AISI 1020		
Resistencias mínimas a la tensión- S_y	390 MPa	57 kpsi
Resistencias mínimas a la fluencia- S_{ut}	470 MPa	68 kpsi

Fuente: [24]

- **Sistema de transmisión polea conducida – banda. [24]**

Al aproximar la potencia de la turbina Pelton $P = 4,95 kW$, se determina las fueras que actúan sobre la polea conducida con una potencia recibida de $P_a = 4,47 kW$. A continuación, se representan de manera gráfica en la figura 22 las fuerzas que actúan sobre la polea conducida.

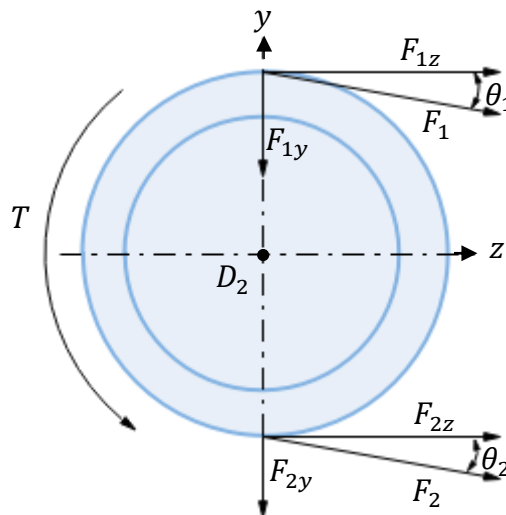


Figura 22. Par de torsión y fuerzas generadas en la polea conducida. Fuente: Autor.

Estas magnitudes generadas por las transmisiones de potencia de las bandas son requeridas para el diseño del eje.

- **Velocidad periférica. [24]**

$$V_p = \frac{D_2 * n_1 * \pi}{60000} \quad (\text{Ec. 36})$$

$$V_p = \frac{203,2 * 900 * \pi}{60000}$$

$$V_p = 9,576 \text{ m/s}$$

$$V_p = 1884,95 \text{ ft/min}$$

La potencia de diseño está dada por:

$$P = P_n C_s n \quad (\text{Ec. 37})$$

Donde:

P = Potencia de diseño (kW).

P_n = Potencia nominal de la turbina (kW).

n = Factor de diseño.

C_s = Coeficiente de servicio.

Con un factor de diseño de 1 y un coeficiente de servicio igual a 1,2, la potencia de diseño es:

$$P = 4,95 * 1,2 * 1$$

$$P = 5,94 \text{ kW} = 7,96 \text{ Hp}$$

- **Tensión centrífuga. [24]**

$$F_c = k_c \left(\frac{V_p}{1000} \right)^2 \quad (\text{Ec. 38})$$

Donde:

F_c : Tensión centrífuga ejercida por la banda (N).

k_c : Coeficiente en función de la sección de la banda

El coeficiente dado en función de la sección de la banda es determinado en el anexo

B. 9 y cuyo valor es de $k_c = 0,965$ por la banda tipo "B".

$$F_c = 0,965 \left(\frac{1884,95}{1000} \right)^2$$

$$F_c = 3,249 \text{ lbf} = 15,25 \text{ N}$$

• **Tensión mayor. [24]**

$$F_1 = F_c + \frac{\Delta F \cdot \exp(f\phi)}{\exp(f\phi) - 1} \quad (\text{Ec. 39})$$

$$\Delta F = F_1 - F_2 \quad (\text{Ec. 40})$$

$$\Delta F = \frac{63025 P_d/n}{\eta \left(\frac{D_1}{2} \right)} \quad (\text{Ec. 41})$$

Donde:

F_1 = Tensión mayor de la banda (N).

ΔF = Potencia transmitida por banda (N).

n = Número de correas

f = Coeficiente de fricción efectivo

ϕ = Ángulo de contacto y es igual a β_2 .

F_2 = Tensión menor de la banda (N).

El coeficiente de fricción efectivo según La Gates Rubber Company [24], el mismo que declara que el valor es de 0,5123 para ranuras.

Reemplazando los valores ya conocidos en la ecuación (Ec. 41), se obtiene:

$$\Delta F = \frac{63025 * 7,966/2}{900 \left(\frac{8}{2} \right)}$$

$$\Delta F = 69,727 \text{ lbf} = 310,162 \text{ N}$$

La tensión mayor transmitida según la ecuación (Ec. 39), es igual a:

$$F_1 = 3,249 + \frac{69,727 \cdot \exp(0,5123 * 3,089)}{\exp(0,5123 * 3,089) - 1}$$

$$F_1 = 91,185 \text{ lbf} = 405,611 \text{ N}$$

Y la tensión menor según la ecuación (Ec. 40) es:

$$F_2 = 21,458 \text{ lbf} = 95,448 \text{ N}$$

Vida de la banda en número de pasadas.

$$N_p = \left[\left(\frac{K}{T_1} \right)^{-b} + \left(\frac{K}{T_2} \right)^{-b} \right]^{-1} \quad (\text{Ec. 42})$$

Donde:

N_p = Vida en número de pasadas.

k y b = Constantes de durabilidad de la banda.

T_1 = Tensión equivalente en la polea impulsora (lbf).

T_2 = Tensión equivalente en la polea impulsada (lbf).

Tensión equivalente en la polea impulsora e impulsada es:

$$T_1 = F_1 + \frac{K_b}{D_1} \quad (\text{Ec. 43})$$

$$T_2 = F_2 + \frac{K_b}{D_2} \quad (\text{Ec. 44})$$

Donde:

K_b = Parámetro de la banda en V, este valor es determinado en el anexo B. 9, con un valor de $K_b = 576$

$$T_1 = 91,185 + \frac{576}{8}$$

$$T_2 = 21,458 + \frac{576}{7}$$

Con K_b igual a 576, las tensiones equivalentes son:

$$T_1 = 163,18 \text{ lbf} = 725,88 \text{ N}$$

$$T_2 = 173,47 \text{ lbf} = 771,63 \text{ N}$$

Los coeficientes de durabilidad k y b se determinan en el anexo B. 10, con valores de: $k = 1193$ y $b = 10,926$, reemplazando los valores en la ecuación (Ec. 42). El número de pasadas es:

$$N_p = \left[\left(\frac{1193}{163,18} \right)^{-10,926} + \left(\frac{1193}{173,47} \right)^{-10,926} \right]^{-1}$$

$$N_p = 9,3 \times 10^8 \text{ pasadas}$$

- **Vida de la banda en horas. [24]**

$$t = \frac{N_p L_P}{720 V} \quad (\text{Ec. 45})$$

Donde:

t = Vida de la banda expresada en horas (h).

$$t = \frac{9,3 \times 10^8 * 1568}{720 * 1884,956}$$

$$t = 42431 \text{ h}$$

El tiempo de vida de la banda seleccionada es mayor a 4 años

Las poleas: conductora D_1 y conducida D_2 , se presentan con ciertos ángulos respecto del eje horizontal. Estos ángulos son conocidos al saber su distancia entre centros de los ejes y se representan de manera gráfica en la figura 23.

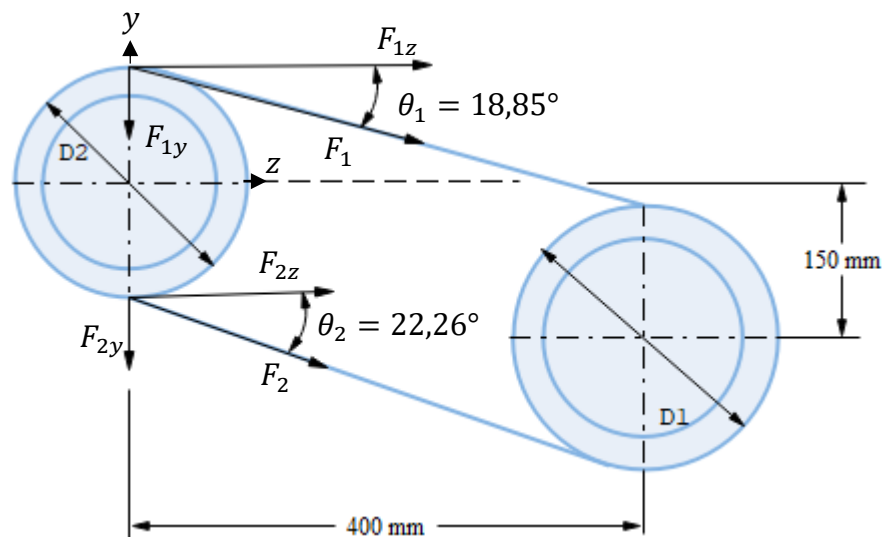


Figura 23. Ángulos conocidos de las poleas y dirección de las fuerzas Fuente: Autor

Con estos valores de los ángulos se descomponen las fuerzas que actúan sobre la polea conducida dando los siguientes resultados:

$$F_{1z} = F_1 \cos \theta_1 \quad (\text{Ec. 46})$$

$$F_{1z} = 405,611 \cos(18,85)$$

$$F_{1z} = 383,857 N$$

$$F_{1y} = -F_1 \sin \theta_1 \quad (\text{Ec. 47})$$

$$F_{1y} = -405,611 \sin(18,85)$$

$$F_{1y} = -131,049 N$$

$$F_{2z} = F_2 \cos \theta_2 \quad (\text{Ec. 48})$$

$$F_{2z} = 95,448 \cos(22,26)$$

$$F_{2z} = 88,335 N$$

$$F_{2y} = -F_2 \sin \theta_2 \quad (\text{Ec. 49})$$

$$F_{2y} = -95,448 \sin(22,26)$$

$$F_{2y} = -292,303 N$$

Obteniendo las resultantes de F_1 y F_2 se procede a sumar las fuerzas totales:

$$F_{Dz} = F_{1z} + F_{2z} \quad (\text{Ec. 50})$$

$$F_{Dz} = (383,85 + 88,335) * -1$$

$$F_{Dz} = -472,192 N$$

Considerando la dirección a la que se encuentra la fuerza respecto al plano cartesiano la fuerza presenta un valor negativo.

$$F_{Dy} = F_{1y} + F_{2y} \quad (\text{Ec. 51})$$

$$F_{Dy} = -131,049 - 292,303$$

$$F_{Dy} = -423,353 N$$

- **Fuerzas producidas en el rotor del generador.**

Durante el funcionamiento el rotor es sometido a cargas por torsión producidas por la fuerza electromotriz y por la misma masa, excitaciones que se deben tomar en cuenta durante de diseño del eje del generador y son representadas en la figura 24.

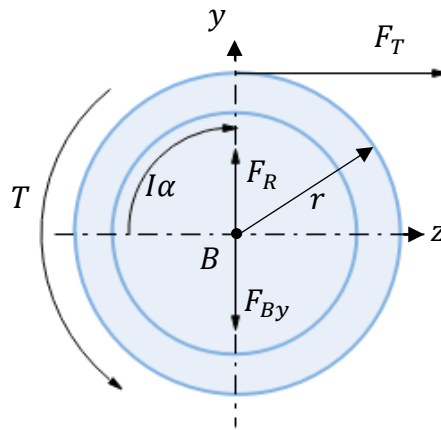


Figura 24. Fuerzas generadas en el rotor bobinado. Fuente: Autor

Sumatoria de fuerzas y momentos en D [24]

$$-\curvearrowright \sum M_B = \sum (M_B)_{ef} \quad (\text{Ec. 52})$$

$$-T = -I\alpha$$

$$T = I\alpha$$

(Ec. 53)

$$T = F_T * r$$

(Ec. 54)

$$+\uparrow \sum F_y = \sum (F_y)_{ef}$$

(Ec. 55)

$$F_R = F_{By}$$

(Ec. 56)

$$+\leftarrow \sum F_z = \sum (F_z)_{ef}$$

(Ec. 57)

$$F_T = m\bar{a}$$

(Ec. 58)

$$\bar{a} = r \cdot \alpha$$

(Ec. 59)

Donde:

T = Par nominal del generador (N)

F_{By} = Peso total del rotor (N)

F_R = Fuerza de reacción (N)

F_T = Fuerza tangencial del rotor (N)

I = Momento de inercia ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)

r = Radio del rotor (m)

α = Aceleración angular (rad/s^2).

\bar{a} = Aceleración lineal (m/s^2).

m_T = Masa total del rotor (kg).

Se determina el momento de inercia según [25] con la ecuación (Ec. 60)

$$I = \frac{1}{2} m_T r^2 \quad (\text{Ec. 60})$$

Despejando los valores de la aceleración lineal presentes en la ecuación (Ec. 54) y (Ec. 60) en (Ec. 59)

$$\bar{a} = \frac{2T}{m_T r} \quad (\text{Ec. 61})$$

La masa del rotor se determina por:

$$m_T = m_a + m_r \quad (\text{Ec. 62})$$

Donde:

m_a = masa del alambre de cobre (Kg)

m_r = masa del núcleo del rotor (Kg)

Masa del alambre de cobre:

$$m_a = v * \rho \quad (\text{Ec. 63})$$

La masa del alambre se determinó con su número de vueltas de 600 en total de la fase (50 vueltas por cada bobina) utilizando una longitud de 300 mm, dando una longitud total de 180000 mm. Para determinar su volumen se multiplica el diámetro del alambre por la distancia total dando un valor de $0,0001476 \text{ m}^3$. La densidad del cobre es de $8900 \text{ kg}/\text{m}^3$. Reemplazando los valores en la ecuación (Ec. 63).

$$m_a = 0,0001476 * 8900$$

$$m_a = 1,31364 \text{ kg}$$

Las láminas del rotor ranurado se realizaron de acero estructural A36 las cuales presentan un espesor de 10 mm y cuya forma se determinó en cálculos previos como se muestra en la figura 25. La masa del rotor bobinado es determinada por software cuyo valor es $m_r = 3,159 \text{ kg}$.

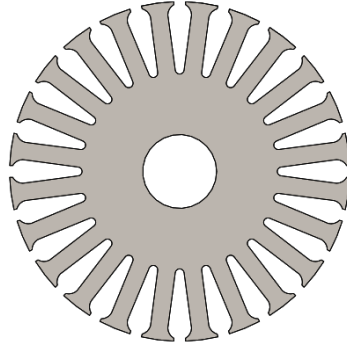


Figura 25. Ranuras del rotor. Fuente: Autor

Con estos valores de masa del alambre y del rotor ranurado se determina una masa total de:

$$m = 4,473 \text{ kg}$$

- **Par nominal del generador [24]**

$$T = \frac{P_{nom}}{2\pi n} \quad (\text{Ec. 64})$$

T = Par nominal del generador (N)

P_{nom} = potencia nominal del generador

n = velocidad de giro del generador

$$T = \frac{1,1kW}{2\pi(600/60)}$$

$$T = 17,5 \text{ Nm}$$

Los valores determinados se reemplazan en la ecuación (Ec. 61)

$$\bar{a} = \frac{2(17,5)}{4,473 * 0,0575}$$

$$\bar{a} = 136,148 \text{ m/s}^2$$

La fuerza tangencial del rotor se la determina al reemplazar en (Ec. 58)

$$F_T = 4,473 * 136,148$$

$$F_T = 608,941 \text{ N}$$

El valor obtenido del rotor se lo multiplica por la gravedad para obtener su peso y determinar la fuerza de reacción en la ecuación (56).

$$F_{By} = 4,473 * 9,81$$

$$F_{By} = 43,877 \text{ N}$$

Al obtener las fuerzas que son ejercidas en el eje por medio del rotor y la polea, se procede a determinar los diámetros mínimos del eje. Se expone en la figura 26 las cargas que actúan en cada punto del eje en un diagrama de cuerpo libre.

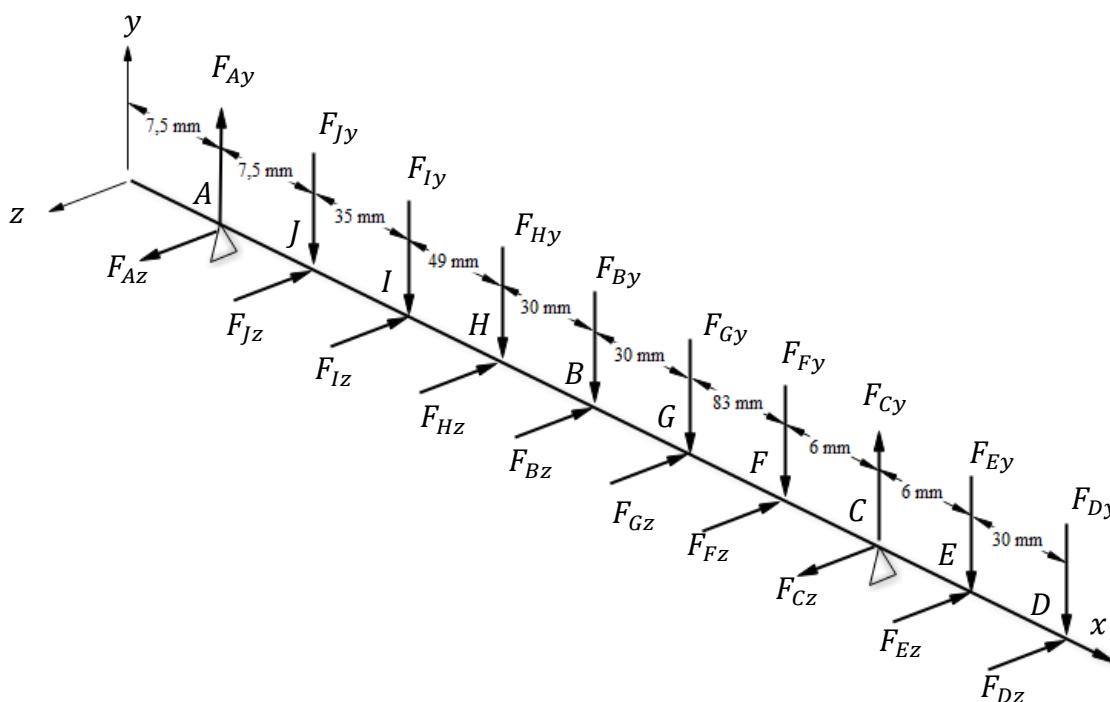


Figura 26. Diagrama de cuerpo libre de fuerzas Fuente: Autor.

Se procede a calcular los momentos que se generan en el plano x-y

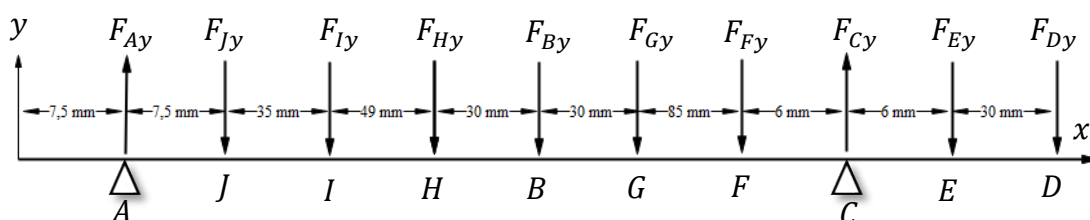


Figura 27. Diagrama de cuerpo libre en el plano x-y Fuente: Autor.

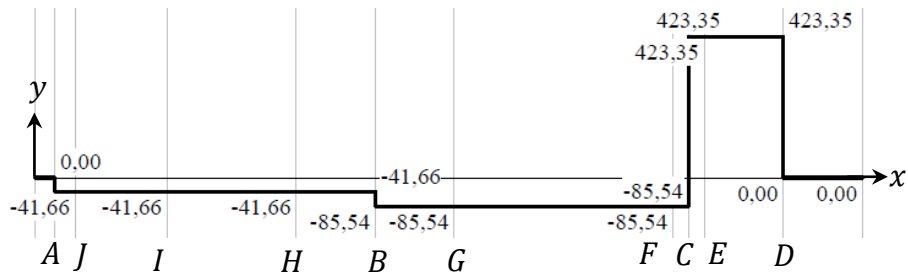


Figura 28. Diagrama de fuerzas cortantes (N) plano x-y Fuente: Autor.

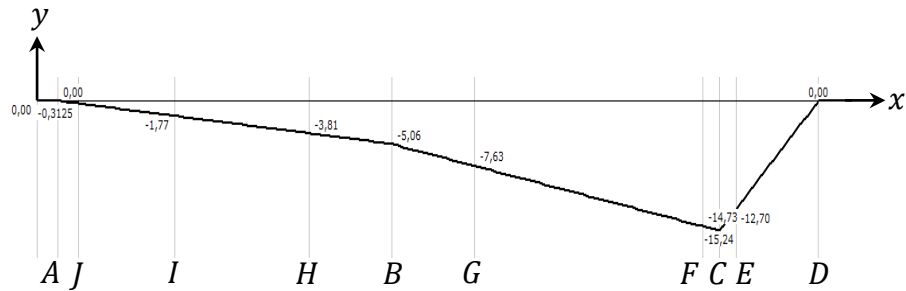


Figura 29. Diagrama momento flector (Nm) en plano x-y Fuente: Autor.

Se procede a realizar la sumatoria de momentos y fuerzas en el punto A

$$+\circlearrowleft \sum M_A = 0 \quad (\text{Ec. 65})$$

$$-F_{By} * 121,5 + F_{Cy} * 240,5 - F_{Dy} * 276,5 = 0 \quad (\text{Ec. 66})$$

$$F_{Ay} = F_{Jy} = F_{Iy}$$

$$F_{By} = F_{Gy} = F_{Fy}$$

$$F_{Cy} = F_{Ey}$$

$$+\uparrow \sum F_y = 0 \quad (\text{Ec. 67})$$

$$F_{Ay} - F_{By} + F_{Cy} - F_{Dy} = 0 \quad (\text{Ec. 68})$$

Resolviendo las ecuaciones (Ec. 66 y (Ec. 68)(Ec. 68 se obtienen los siguientes resultados:

$$\downarrow F_{Cy} = 508,8 \text{ N}$$

$$F_{Ay} = -41,66 \text{ N}$$

Se determina un momento máximo en el punto C en el plano x-y.

$$M_C = 15,24 \text{ Nm}$$

$$M_B = 5,06 \text{ Nm}$$

Se procede a determinar el valor de las reacciones y momentos en el plano x-z

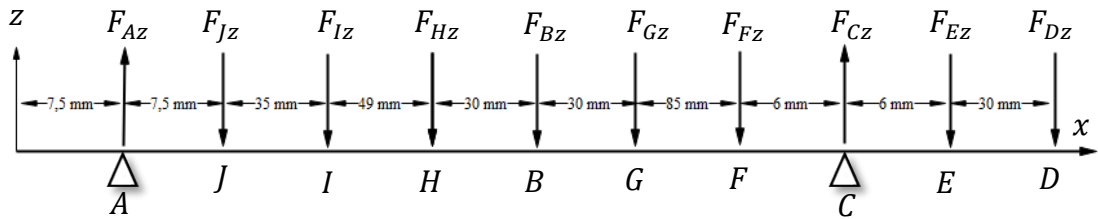


Figura 30. Diagrama de cuerpo libre en el plano x-z Fuente: Autor.

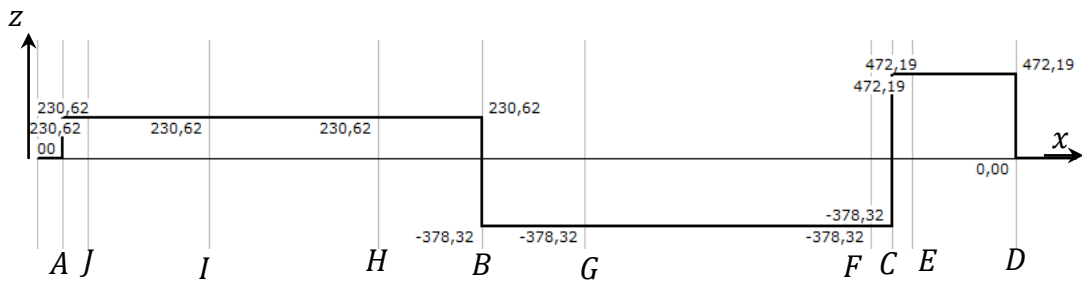


Figura 31. Diagrama de fuerzas cortantes (N) plano x-z Fuente: Autor.

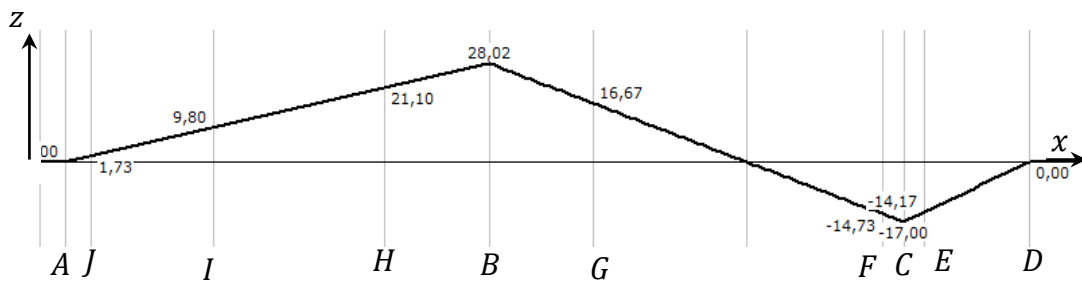


Figura 32. Diagrama momento flector (Nm) en plano x-y Fuente: Autor.

Se procede a realizar la sumatoria de momentos y fuerzas en el punto A

$$+\circlearrowleft \sum M_A = 0 \quad (\text{Ec. 69})$$

$$F_{By} * 121,5 - F_{Cy} * 240,5 - F_{Dy} * 276,5 = 0 \quad (\text{Ec. 70})$$

$$+\uparrow \sum F_y = 0 \quad (\text{Ec. 71})$$

$$F_{Ay} - F_{By} + F_{Cy} - F_{Dy} = 0 \quad (\text{Ec. 72})$$

Resolviendo las ecuaciones (Ec. 70) y (Ec. 72) se obtienen los siguientes resultados:

$$\downarrow F_{Cy} = 850,509 \text{ N}$$

$$\uparrow F_{Ay} = 230,63 \text{ N}$$

Se determina un momento máximo en el punto B en el plano z-x cuyo valor es:

$$M_B = 28,02 \text{ Nm}$$

$$M_C = 17 \text{ Nm}$$

Debido a que se presenta un valor de momento superior en el punto B, se considerará para diseño del diámetro mínimo.

Se procede a realizar el diseño estático y dinámico del eje.

- **Diseño estático [24]**

Se determina un valor de momentos máximos para los puntos B

$$M_{Bm\acute{a}x.} = \sqrt{M_{B(y)}^2 + M_{B(z)}^2} \quad (\text{Ec. 73})$$

$$M_{Bm\acute{a}x.} = \sqrt{5,02^2 + 28,02^2}$$

$$M_{Bm\acute{a}x.} = 28,47 \text{ N}$$

El esfuerzo máximo por flexión es:

$$\sigma_x = \frac{32M_{Bm\acute{a}x.}}{\pi d^3} \quad (\text{Ec. 74})$$

Donde:

σ = Esfuerzo máximo por flexión (MPa).

d = Diámetro mínimo del eje (m).

$$\sigma_x = \frac{32(28,47)}{\pi d^3}$$

$$\sigma_x = 232,55/d^3$$

Debido a que el valor a determinar es el diámetro, se expresan las ecuaciones en función al diámetro mínimo.

El esfuerzo cortante torsional máximo es:

$$\tau_{xy} = \frac{16T_{nom}}{\pi d^3} \quad (\text{Ec. 75})$$

Donde:

τ_{xy} = Esfuerzo cortante máximo (MPa).

T_{nom} = Torque generado por la polea en el eje (N-m).

El par nominal que se ejerce en el eje por la tensión mayor y menor de la polea se determina con la ecuación (Ec. 76):

$$T_{nom} = (F_1 * r) - (F_2 * r) \quad (\text{Ec. 76})$$

Donde r es el radio de la polea menor

$$T_{nom} = (405,611 * 0,089) - (95,448 * 0,089)$$

$$T_{nom} = 27,57 \text{ Nm}$$

Reemplazando estos valores en la ecuación (Ec. 75)

$$\tau = \frac{16(27,57)}{\pi d^3}$$

$$\tau = 140,43/d^3$$

Se procede a determinar el esfuerzo de von Mises σ' con la ecuación (Ec. 77):

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (\text{Ec. 77})$$

$$\sigma' = \sqrt{(232,55/d^3)^2 + 3(140,43/d^3)^2}$$

$$\sigma' = 336,51/d^3$$

El factor de seguridad n viene dado por:

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (\text{Ec. 78})$$

Donde:

Se asumen un factor de seguridad para estas condiciones de 3, con la finalidad de garantizar un diámetro mínimo adecuado para el diseño. Y en cálculos posteriores para diseño a fatiga.

$$3 = \frac{370e6}{336,51/d^3}$$

$$d = 0,0144 \text{ m}$$

Con el valor del diámetro mínimo requerido para el eje, se procede a determinar los diámetros para cada sección del eje con el fin se seleccionar el diámetro adecuado para cada rodamiento.

- **Diseño dinámico. [24]**

Para el diseño del eje se considera un diseño para vida infinita. Se inicia el diseño en el punto J debido a que se presenta un cambio de sección. Se mantiene la consideración del factor de seguridad de 3.

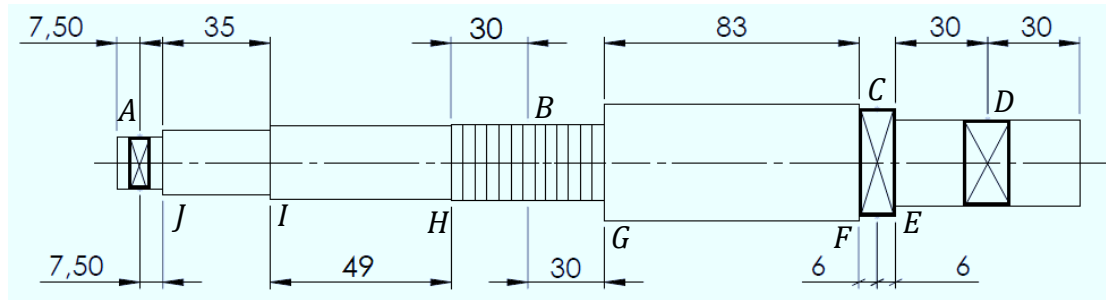


Figura 33. Ubicación del rotor bobinado, los cocientes y la polea (mm) Fuente: Autor

Se determina el momento máximo de flexión que se produce en el punto J utilizando la ecuación (Ec. 73).

$$M_{Jm\acute{a}x.} = 1,758 \text{ Nm}$$

El par de torsión que es transmitido por la polea es de $T_{nom} = 27,57 \text{ Nm}$

Para la primera aproximación del diámetro pequeño en el hombro J se usa el criterio de falla de ED-Goodman debido a que según [24], es bueno para un diseño inicial debido a que es conservador y simple.

$$d_J = \sqrt[3]{\frac{16n}{\pi} \left[\frac{2(k_f M_a)}{S_e} + \frac{\sqrt{3(k_{fs} T_m)^2}}{S_{ut}} \right]} \quad (\text{Ec. 79})$$

Donde:

d_J = Diámetro menor en el punto H (m).

n = Factor de seguridad mínimo es igual a 4.

k_f = Factor de concentración de esfuerzo por flexión.

$M_a = M_{Jm\acute{a}x.}$ Momento flexionante en el punto J (Nm).

k_{fs} = Factor de concentración de esfuerzo por torsión.

$T_m = T_{nom}$ (N · m).

S_e = Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de un elemento en particular (MPa).

Para el diseño esfuerzo-vida se considera factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica del eje [24].

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f \frac{1}{K_f} S'_e \quad (\text{Ec. 80})$$

Donde:

k_a = Factor de modificación de la condición superficial.

k_b = Factor de modificación del tamaño.

k_c = Factor de modificación de la carga.

k_d = Factor de modificación de la temperatura.

k_e = Factor de confiabilidad.

k_f = Muestra el factor de efectos varios.

K_f = Indica la concentración de esfuerzos

S'_e = Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria (MPa).

Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria se determina

$$S'_e = 0,5 S_{ut} \quad (\text{Ec. 81})$$

$$S'_e = 0,5 (470)$$

$$S'_e = 235 \text{ MPa}$$

Factor de modificación de la condición superficial.

$$k_a = a S_{ut}^b \quad (\text{Ec. 82})$$

Donde:

a y b : Factores de modificación superficial anexo B. 11.

$$k_a = 4,45(470)^{-0,265}$$

$$k_a = 0,87$$

Factor de modificación del tamaño.

Se considera $k_b = 0,9$, valor que se verifica una vez que se conozca el diámetro menor, se emplea anexo B. 12.

Según el anexo B. 13 el factor $k_c = 1$.

Factor de temperatura.

$$k_d = S_T/S_{RT} \quad (\text{Ec. 83})$$

De toma en consideración una temperatura ambiente para las condiciones de trabajo a las cuales estará expuesta la máquina. El factor $k_d = 1,01$. Determinado por el anexo B. 14

Factor de confiabilidad.

Se determina en el anexo B. 15 confiabilidad del 95% el factor $k_e = 0,868$.

Factor de concentración de esfuerzo por flexión y cortante.

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad (\text{Ec. 84})$$

$$k_{fs} = 1 + q_s(k_{ts} - 1) \quad (\text{Ec. 85})$$

Donde:

k_t = Factor de concentración del esfuerzo por flexión.

k_{ts} = Factor de concentración del esfuerzo por torsión.

q = Sensibilidad a la muesca por flexión.

q_s = Sensibilidad a la muesca por torsión.

En el anexo B. 16, se estima $k_t = 1,7$, $k_{ts} = 1,5$ y se asume de forma conservadora que $k_f = k_t$ y $k_{fs} = k_{ts}$. Mismos que se representan en anexo B. 17 y anexo B. 18

Concentración de esfuerzos K_f

$$K_f = 1 + \frac{k_t - 1}{1 + \sqrt{\frac{a}{r}}} \quad (\text{Ec. 86})$$

Donde:

\sqrt{r} = radio de la muesca con la que se maquina el eje

\sqrt{a} = Parámetros de Heywood anexo B. 19.

$$\sqrt{a} = \frac{139}{S_{ut}} \quad (\text{Ec. 87})$$

$$\sqrt{a} = 0,293$$

Reemplazando estos valores en la ecuación (Ec. 86) se obtiene:

$$K_f = 1,56$$

Entonces el límite de resistencia a la fatiga según la ecuación (Ec. 80) es:

$$S_e = 0,874 * 0,9 * 0,59 * 0,868 * 0,814 * 1,7 * \frac{1}{1,56} * 235$$

$$S_e = 83,73 \text{ MPa}$$

Reemplazando los valores conocidos en la ecuación (Ec. 79)

$$d_J = \sqrt[3]{\frac{16 * 4}{\pi} \left[\frac{2(1,56 * 1,758)}{83,73e6} + \frac{\sqrt{3(1,56 * 27,57)^2}}{470e6} \right]} \quad (\text{Ec. 88})$$

$$d_J = 0,01658 \text{ m}$$

El diámetro obtenido es superior al valor mínimo de diámetro para diseño del eje. Sin embargo, se toma un valor superior al determinado.

$$d_J = 0,017 \text{ m}$$

Una relación típica D/d para el soporte de un hombro es $D/d = 1,2$, con eso se determina el diámetro mayor en el punto I.

$$D_I = 0,0204 \text{ m}$$

Sin embargo, este diámetro puede verse alterado, debido a que en este punto se instalará el colector de delgas o anillos rozantes. Mismo que presenta un diámetro determinado por los fabricantes, su diámetro interior se lo puede incrementar mas no reducir.

El realiza un nuevo valor de recalcu para la comprobación del factor de seguridad mínimo que se puede obtener.

En el anexo B. 12 el factor de tamaño es:

$$k_b = 1,24 d_J^{-0,107} \quad (\text{Ec. 89})$$

$$k_b = 1,24 (17)^{-0,107}$$

$$k_b = 0,9157$$

El valor que se obtiene de la relación $r/d_H = 0,088$, los valores siguientes se los determina en el anexo B. 17 y anexo B. 18. $k_t = 1,9$, $q = 0,79$ y $k_{ts} = 1,4$, $q_s = 0,82$ por tanto, los factores de concentración de esfuerzo son:

$$k_f = 2,326$$

$$k_{fs} = 1,873$$

Reemplazando los nuevos valores obtenidos en la ecuación (Ec. 80), el nuevo el límite de resistencia a la fatiga es:

$$S_e = 50,113 \text{ MPa}$$

Los esfuerzos alternantes y medios se combinan de acuerdo a la teoría de falla por energía de distorsión, donde los esfuerzos de Von Mises para ejes giratorios, redondos y sólidos, están dados por:

$$\sigma'_a = \sqrt{\left(\frac{32k_f M_a}{\pi d_J^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16k_{fs} T_m}{\pi d_J^3}\right)^2} \quad (\text{Ec. 90})$$

$$\sigma'_m = \sqrt{\left(\frac{32k_f M_m}{\pi d_J^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16k_{fs} T_m}{\pi d_J^3}\right)^2} \quad (\text{Ec. 91})$$

Lo términos M_m y T_a pueden igualarse a cero según [24], entonces los esfuerzos alternantes y medios según las ecuaciones (Ec. 90) y (Ec. 91) es:

$$\sigma'_a = 8,48 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_m = 12,7 \text{ KPa}$$

El factor de seguridad según el criterio de falla por fatiga de Goodman es:

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad (\text{Ec. 92})$$

$$\frac{1}{n} = \frac{8,48 \times 10^6}{53,11 \times 10^6} + \frac{12,7 \times 10^3}{470 \times 10^6}$$

$$n = 5,89$$

El factor de seguridad que se ha determinado es mayor al asumido, por lo cual se determina que el diámetro seleccionado es el adecuado para este diseño.

Otro punto a considerar en el diseño es el punto E en el cual se apoya la polea que soporta la carga transmitida por la polea de la turbina hacia el generador. Mediante la

ecuación (Ec. 73) se determina el valor de la carga máxima que se produce en el punto E.

$$M_{Em\acute{a}x.} = 19,028 Nm$$

El par de torsión que es transmitido por la polea es de $T_{nom} = 35,01 Nm$

Para la determinación del diámetro mínimo para el punto D en el cual se ubica el segundo rodamiento próximo a la polea, se emplea el mismo procedimiento anterior tomado de: [24] para su desarrollo. Se detalla en la tabla 12 los datos obtenidos al determinar el diámetro del eje en el punto D

Tabla 12. Diámetro determinado del punto D

Factor de modificación de la condición superficial	k_a	0,87	(Ec. 82)
Factor de modificación del tamaño.	k_b	0,9	anexo B. 12
Factor de modificación de la carga.	k_c	1	anexo B. 13
Factor de temperatura.	k_d	1,01	anexo B. 14
Factor de confiabilidad.	k_e	0,868	anexo B. 15
Factor de concentración de esfuerzo por flexión y cortante.	k_t	1,6	anexo B. 16
	k_{ts}	1,5	anexo B. 16
Concentración de esfuerzos	K_f	1,311	(Ec. 86)
Límite de resistencia a la fatiga	S_e	115,93 MPa	(Ec. 80)
Factor de seguridad asumido	n	6	Autor
Diámetro calculado punto D	d_D	0,026 m	(Ec. 79)
Diámetro nominal punto D	d_D	0,028 m	anexo B. 20
Relación a diámetro d_C	$\frac{D}{d} = 1,2,$	0,033 m	[24]
Diámetro nominal punto C	d_C	0,035 m	anexo B. 20
Recalculo para el factor de seguridad			
Factor de modificación del tamaño.	k_b	0,868	anexo B. 12
Factores de concentración de esfuerzo	k_f	1,468	anexo B. 18
	k_{fs}	1,873	anexo B. 18
Límite de resistencia a la fatiga	S_e	50,11 MPa	(Ec. 80)
Esfuerzos alternantes y medios	σ'_a	13 MPa	(Ec. 90)
	σ'_m	6 KPa	(Ec. 91)

Factor de seguridad calculado	n	5,07	(Ec. 92)
-------------------------------	---	------	----------

Fuente: Autor

El factor de seguridad que se ha determinado es menor al asumido, sin embargo, el diámetro seleccionado es el adecuado para este diseño.

Para los puntos siguientes se presenta a continuación en tabla 13 los diámetros mínimos obtenidos en el eje para cada condición de carga.

Tabla 13. Diámetros mínimos para el eje.

Diámetro	Medida
D_J	0,021 m
D_I	0,025 m
D_G	0,038 m

Fuente: Autor

El diámetro D_G presenta un valor superior debido a que se consideró ese punto como apoyo para el rotor bobinado y para el rodamiento del punto C.

- **Selección de rodamientos.**

En el punto A y C se encuentran los rodamientos que sujetarán el eje del generador, por tanto, se procede a realizar su selección utilizando el catálogo SKF. El cual proporciona los datos necesarios para su selección.

Se procede al diseño en el punto C por ser el punto más crítico.

- **Selección para el punto A**

Vida ampliada del rodamiento.

$$L_{10h} = a_1 a_2 a_3 \left(\frac{C}{P}\right)^p \frac{10^6}{60n} \quad (\text{Ec. 93})$$

Donde:

L_{10h} = Vida del rodamiento (h).

a_1 = Factor de confiabilidad.

a_2 = Factor del material.

a_3 = Factor de servicio.

C = Capacidad de carga dinámica (kN).

P = Carga estática equivalente (kN).

p = Exponente de vida. (para rodamientos de bola = 3)

El factor de confiabilidad es determinado anexo B. 21. Con una fiabilidad seleccionada del 95% se obtiene:

$$a_1 = 0,62$$

Factor de ajuste de vida-según catálogo.

$$a_{23} = a_2 a_3$$

Se asume un valor de $a_{23} = 1,7$ para iniciar con la iteración.

Carga estática equivalente.

$$P_A = \sqrt{F_{Ay}^2 + F_{Az}^2} \quad (\text{Ec. 94})$$

$$P_A = \sqrt{(-41,66)^2 + (508,8)^2}$$

$$P_A = 0,2 \text{ kN}$$

Para la determinación de la vida del rodamiento se utiliza el anexo B. 22 y se determina un $L_{10h} = 45\ 000$ horas en función de la vida nominal de la máquina.

Despejando de la ecuación

$$C = P \sqrt[3]{\frac{L_{10h} n 60}{a_1 a_2 a_3 10^6}}$$

$$C = 0,2 \sqrt[3]{\frac{45\ 000 * 950 * 60}{(0,62 * 1,7) 10^6}}$$

$$C = 2,69 \text{ kN}$$

Con el valor de la carga dinámica determinada se procede a seleccionar un rodamiento cuya carga dinámica sea superior a la calculada, y se selecciona un rodamiento tipo 61903 como se detalla en anexo B. 23. Se consideró el diámetro interno de 0,017m debido a que este fue el valor obtenido en cálculos anteriores para ese punto del eje.

De manera similar se selecciona el rodamiento para el punto C, el mismo que determina un rodamiento 61907 como se detalla en el anexo B. 24. En cuyo caso el valor del diámetro interior es de 0,035m.

- **Selección del lubricante [26].**

Viscosidad del aceite.

$$V_1 = k \frac{4500}{\sqrt{d_{mr}n}} \quad (\text{Ec. 95})$$

Donde:

V_1 = Viscosidad de aceite ideal (m^2/s).

k = Ratio de viscosidad, debido a que la velocidad de giro del generador inferior a 1000 rpm se considera un valor de $k = 1$.

d_{mr} = Diámetro medio del rodamiento (m), cuyos valores de terminaron en el anexo B.

23. Y se es determinada según [27] por la ecuación (Ec. 96).

$$d_{mr} = \frac{D + d}{2} \quad (\text{Ec. 96})$$

$$d_{mr} = \frac{0,030 + 0,017}{2}$$

$$d_{mr} = 0,0235 \text{ m}$$

Reemplazando los valores obtenidos se obtiene:

$$V_1 = 1 \frac{4500}{\sqrt{0,0235 * 950}}$$

$$V_1 = 952,39 \text{ m}^2/s$$

- **Viscosidad ideal corregida [26] [27]**

Temperatura de trabajo.

$$T_T = T_{amb} + \Delta_T \quad (\text{Ec. 97})$$

Donde:

T_T : Temperatura de trabajo ($^{\circ}C$).

T_{amb} : Temperatura ambiente ($^{\circ}C$).

Δ_T : Escala de trabajo (°C).

Se tomo una temperatura ambiente de 40 °C, considerando la temperatura que podría alcanzar el generador al entrar en funcionamiento.

$$T_T = 25 + 40$$

$$T_T = 95 \text{ °C}$$

Se determina una viscosidad cinemática a (V_c), en el anexo B. 25 de ISO VG 100. Considerando la escala de temperatura de trabajo a la cual se podría encontrar trabajando el rodamiento.

Con este aceite se procede a calcular su viscosidad real mediante el anexo B. 26.

$$V_{real} = 12 = 1,2e - 5m^2/s$$

Factor de ajuste de vida-según catálogo se obtiene a partir de:

$$k = \frac{V_{real}}{V_1} \quad (\text{Ec. 98})$$

k : Relación de viscosidad.

$$k = \frac{12}{30,11}$$

$$k = 0,398$$

Relación de ajuste de vida.

$$R_{av} = n_c \frac{P_u}{P} \quad (\text{Ec. 99})$$

Donde:

R_{av} = Relación ajuste de vida.

n_c = Nivel de contaminación del rodamiento, se toma una contaminación ligera, cuyo valor es 0,4

$$R_{av} = 0,4 \frac{0,108}{0,2}$$

$$R_{av} = 0,216$$

Al determinar el coeficiente a_{23} según el anexo B. 28.

$$a_{23} = 0,52$$

La vida ampliada del rodamiento es:

$$L_{10h} = 68379.03 \text{ h}$$
$$168379.03 > 45000$$

El valor calculado de la vida ampliada del rodamiento es superior a la que se asumió antes del diseño, por tanto, dicho rodamiento es el adecuado para su selección.

2.2.2.2 Construir el generador de flujo radial de imanes permanentes de neodimio de estator con polos salientes.

Se procede a la selección del tipo y grado de imán a emplear en el desarrollo del proyecto

- **Imanes permanentes de neodimio**

Presentan las mejores características magnéticas, se encuentran dentro de la familia de las “Tierras Raras”. Son obtenidos mediante compresión de polvo de aleación cocido en caliente dentro de una atmosfera controlada en un campo magnético, Son sensibles a la temperatura y corrosión, al recibir tratamientos de revestimiento como: metálico, epoxi, etc., pueden adaptarse a las condiciones de uso. Dependiendo del grado de los imanes pueden ser utilizados en temperaturas de hasta 180 °C. [28]

Estos imanes contienen entre un 30-32% en metales de tierras raras (, 1% de boro, 0-3% de cobalto y hierro como balance). Al ser mezclados con diferentes aleaciones (contenido de disprosio y neodimio), adquieren propiedades como una disminución de la remanencia (B_r , imantación residual del imán el cual fue imantado hasta la saturación en circuito cerrado) si la concentración de disprosio aumenta, sin embargo, su coercitividad intrínseca (oposición de un material magnético a ser desmagnetizado) aumentara considerablemente. La resistencia a la corrosión aumenta con el cobalto al igual que la resistencia a la temperatura de Curie (temperatura por encima de la cual

se convierten los materiales ferromagnéticos en paramagnéticos, perdiendo sustancialmente todas sus propiedades magnéticas permanentemente). [20] [29]

- **Aplicaciones de los imanes de Neodimio**

Son empleados en herramientas inalámbricas, así como también, para la fabricación de motores. Se emplean también en computadores y los discos duros en los cuales son más aprovechados.

Se emplean en diversos campos, como en la industria de los juguetes, usos terapéuticos (en magnetoterapia, manillas magnéticas), en electrónica (en los actuadores se usa en la cabeza de lectura para los discos duros), en medicina (máquinas de resonancia magnética), en pastillas que se usan para guitarras eléctricas. El desarrollo de estas aplicaciones se puede encontrar en variados motores o generadores, servomotores, turbinas de viento, motores de vehículos eléctricos, entre otros. [30]

- **Generadores de imanes permanentes.**

Mediante imanes permanentes se puede generar el campo magnético del generador en algunas aplicaciones. Empleando imanes como Neodimio-boro-hierro o samario-cobalto, se puede generar una densidad de flujo magnético parecida a la producida por los bobinados de campo. Los generadores que emplean imanes permanentes no requieren de la provisión de corriente de campo. Sin embargo, no presentan medios para controlar la tensión de salida. [31]

- **Neodimio-Hierro-Boro**

Presenta propiedades similares al Samario-Cobalto, sin embargo, es más fácil de oxidar y no presenta la misma resistencia a la temperatura que los imanes de samario. Este tipo de imanes se aproximan a un grado energético de 52 MGOe (Mega-Gauss-Oersted o kilojulio por metro cúbico). Está formada por una aleación de $Nd_2Fe_{14}B$, formando una estructura cristalina tetragonal. Por sus propiedades si empleados en motores de herramientas inalámbricas, unidades de disco duro, entre otros. [32] [33]

- **Topología de la imantación**

Para diferentes aplicaciones, la configuración de polaridad y geometría de los imanes es variada. Se toma en cuenta en el diseño la orientación de las líneas de flujo, excepto para los imanes Alnico. Según su espesor los materiales son orientados como se detalla en la figura 34. [28]

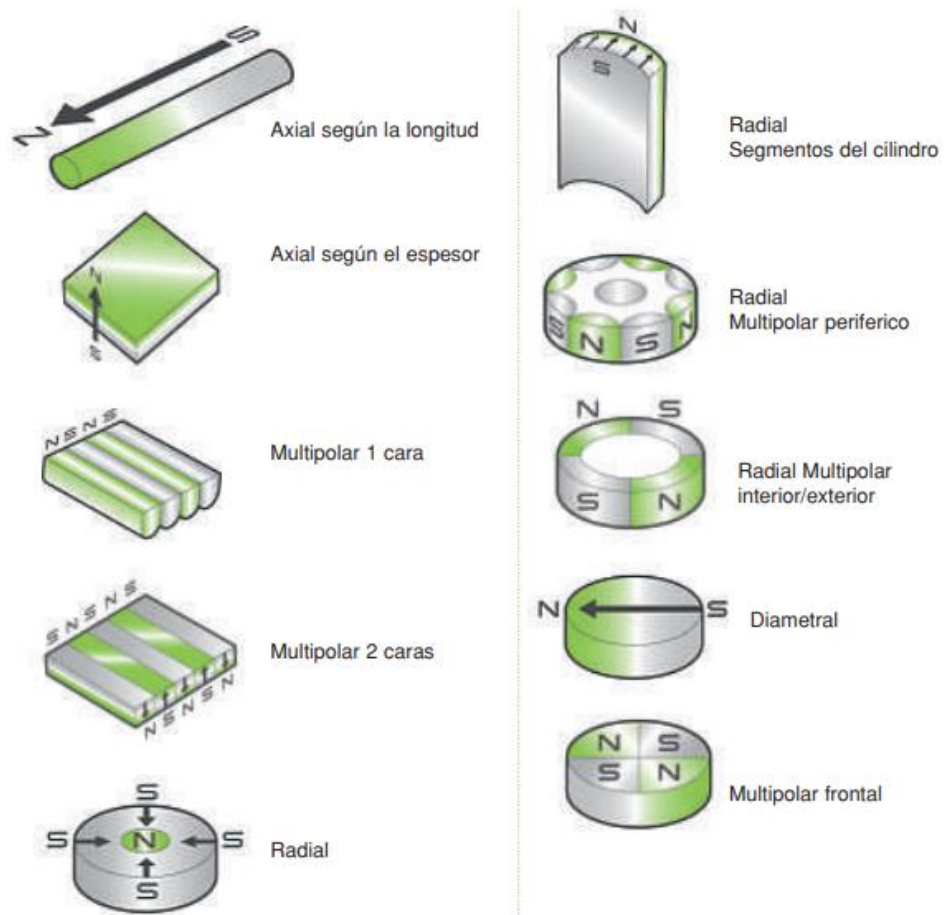


Figura 34. Imantación Fuente: [28]

- **Selección de alternativas**

Para la construcción del generador de imanes permanentes de estator de polos salientes, se deben considerar una serie de pasos que consisten en la selección de los componentes. Se establece la selección del imán permanente de neodimio, la geometría y número de polos del estator, geometría del rotor, número de delgas del colector,

Sin embargo, se plantean como parámetros de entrada los siguientes datos:

- Número de revoluciones por minuto (r.p.m.) 600 – 700 r.p.m., debido a que las turbinas en las cuales se va a realizar los ensayos de funcionamiento operan a dichas condiciones. (con alturas de salto de tanto de 9 a 12 metros)
- Voltaje de salida se inicia con un valor de 110V, sin embargo, se estima una reducción de dicho valor por condiciones de diseño.
- Frecuencia de 60Hz, debido a que los instrumentos, máquinas o aplicaciones eléctricas para dicha generación de energía operan con esta frecuencia.

- **Imán permanente de neodimio**

La limitación de los generadores es el tamaño del campo magnético que se pueden obtener, debido a que mientras más grande sea el campo el tamaño del imán también lo es. Por tal razón se emplean los electroimanes, los cuales están constituidos por un metal embobinado a su alrededor y por el cual fluye corriente eléctrica. Para eliminar este proceso se emplean imanes con un grado de imantación elevado como se muestra en la figura 35.



Figura 35. Imán permanente de neodimio grado 52 Fuente: [34]

La selección del imán permanentes está relacionado a su grado de magnetización, los cuales presentan un grado más elevado de acuerdo al material de los cuales están fabricados (no por la “Gauss”). Hoy en día el grado más alto de magnetización disponible es N52, esto representa un grado de magnetización de 50 a 52 MGOe (398-422 kJ/m³), como lo muestra la tabla 14. [34]

Tabla 14. Datos físicos de los imanes.

Calidad	Remanencia		Coercitividad				Producto energético		Temp. de servicio máx. °C
	Br		bHc		iHc		(BxH)max		
	Gauss (G)	Tesla (T)	kOe	kA/m	kOe	kA/m	MGOe	kJ/m³	
N30	10800-11200	1.08-1.12	9.8-10.5	780-836	≥12	≥955	28-30	223-239	≤80
N33	11400-11700	1.14-1.17	10.3-11	820-876	≥12	≥955	31-33	247-263	≤80
N35	11700-12100	1.17-1.21	10.8-11.5	860-915	≥12	≥955	33-35	263-279	≤80
N38	12200-12600	1.22-1.26	10.8-11.5	860-915	≥12	≥955	36-38	287-303	≤80
N40	12600-12900	1.26-1.29	10.5-12.0	860-955	≥12	≥955	38-40	303-318	≤80
N42	12900-13200	1.29-1.32	10.8-12.0	860-955	≥12	≥955	40-42	318-334	≤80
N45	13200-13700	1.32-1.37	10.8-12.5	860-995	≥12	≥955	43-45	342-358	≤80
N48	13700-14200	1.37-1.42	10.8-12.5	860-995	≥12	≥955	45-48	358-382	≤80
N50	14000-14600	1.40-1.46	10.8-12.5	860-995	≥12	≥955	47-51	374-406	≤80
N52	14200-14700	1.42-1.47	10.8-12.5	860-995	≥12	≥955	48-53	380-422	≤65

Fuente: [34]

Para la selección del grado del imán se realiza una comparación entre las investigaciones realizadas según [35] [36]. En las cuales se emplean imanes permanentes de neodimio N40. Utilizando los datos de la tabla 14 la cual es empleada por ambas investigaciones se determina los valores de trabajo para cada grado de imán. Para la comparación se la realiza mediante consideraciones eléctricas como:

Energía magnética: permite determinar la energía máxima que pueden suministrar los imanes al ser colocados en el generador según [35] mediante la ecuación (Ec. 100):

$$E_M = \frac{(B - H)_{max} * V_i * N}{2} \quad (\text{Ec. 100})$$

Donde

E_M = Energía magnética

$(B - H)_{max}$ = Producto energético en kJ/m^3

V_i = Volumen de los imanes

N = Número de imanes

Potencia eléctrica máxima: Esta potencia resulta de multiplicar la energía máxima generada de los imanes por la velocidad angular [1] [35]. La cual viene expresada por la siguiente ecuación:

$$P_{em} = \frac{\pi * \omega * E_M}{30} \quad (\text{Ec. 101})$$

Donde:

P_{em} = Potencia eléctrica en W

ω = Velocidad angular en rpm

En la tabla 15 se presenta la potencia eléctrica que rinden dichos imanes, en la cual se nota una variación en el resultado obtenido debido al volumen, rpm. y en los cuales para los grados N40 el valor de producto energético $(B - H)_{max}$ igual a 318 kJ/m^3 y para el grado N52 de 422 kJ/m^3 .

Tabla 15. Comparación de potencia eléctrica de imanes de neodimio

Grado del imán	Fuente	Dimensiones m	V m3	E_M (kJ)	RPM	P_{em} (W)
N40	[36]	0,046x0,03x0,01	1,38E-05	0,02509	450	1240,79
N40	[35]	0,05x0,032x0,01	1,60E-05	0,02909	730	2333,73
N52	Autor	0,0508x0,025x0,012	1,64E-05	0,03736	650	2824,27

Fuente: Autor

En la tabla 15 se aprecia que con un grado N52 obtiene una potencia eléctrica de $2,8 \text{ kW}$. Sin embargo, al no mantener constantes las r.p.m. a las cuales trabajaron los generadores varían también la potencia eléctrica obtenida. Por tanto, en la tabla 16 se presenta la potencia eléctrica con rpm constantes.

Tabla 16. Comparación de potencia eléctrica con rpm constantes

Grado del imán	Fuente	Dimensiones m	V m3	E_M (kJ)	RPM	P_{em} (W)
N40	[36]	0,046x0,03x0,01	1,38E-05	0,02509	650	1792,25
N40	[35]	0,05x0,032x0,01	1,60E-05	0,02909	650	2077,98
N52	Autor	0,0508x0,025x0,012	1,64E-05	0,03736	650	2824,27

Fuente: Autor

El grado N52 presenta un mayor aporte de potencia eléctrica en comparación con los imanes empleados en las investigaciones realizadas, además, en este proyecto se parte con una potencia eléctrica de generación de 1 kW siendo una buena opción dicho imán ya que se puede obtener $2,8 \text{ kW}$ a 650 rpm.

Para la determinación del número de imanes que se deberán emplear se los hace en función de las revoluciones por minuto que se obtendrá de la turbina a emplear. Por tanto, se presenta enlistados en la tabla 17 los números de polos de un generador y las velocidades de giro a las cuales trabajan de acuerdo al tipo de red [37].

Tabla 17 Número de polos de un generador eléctrico y velocidades de giro

Número de polos	Velocidades de un generador síncrono (r.p.m)	
	50 Hz	60 Hz
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720
12	500	600

Fuente: [37]

En este proyecto se emplearán 12 imanes, considerando el número de rpm. que se obtendrán por medio de turbinas hidráulicas.

- **Número de vueltas en serie por fase N_r [20]**

$$N_r = \frac{\sqrt{2} E_m}{\omega k_w l' \tau_p \alpha_i \hat{B}_\delta} \quad (\text{Ec. 102})$$

Donde:

E_m = Fuerza electromotriz por fase (V)

ω = Frecuencia angular *rad/s*

La fuerza electromotriz por fase para máquinas síncronas de imanes permanentes típicamente se usa un rango de (0,9 – 1,1) multiplicado por el voltaje de fase.

$$E_m = (0,9 - 1,1)V_n \quad (\text{Ec. 103})$$

Para determinar el voltaje de fase V_n se utiliza el valor del 110 V,

$$V_n = \frac{V}{\sqrt{3}} \quad (\text{Ec. 104})$$

$$V_n = \frac{110}{\sqrt{3}}$$

$$V_n = 63,51 \text{ V}$$

Reemplazando el valor obtenido de V_n se determina el valor de E_m utilizando 1,1 para el diseño.

$$E_m = 1,1 * 63,51$$

$$E_m = 69,86 \text{ V}$$

El valor de la frecuencia angular de la corriente ω , se presenta en función de los pares de polos por la velocidad de sincronismo.

$$\omega = 2p\pi n_{syn} \quad (\text{Ec. 105})$$

$$\omega = 2(6)\pi(5)$$

$$\omega = 60\pi \text{ rad/s}$$

La relación del promedio aritmético de la densidad del flujo α_i es la relación de 2 sobre π .

$$\alpha_i = 2/\pi \quad (\text{Ec. 106})$$

$$\alpha_i = 0,6366$$

Reemplazando los valores obtenidos de $E_m, \omega, k_w, l', \tau_p, \alpha_i$ y \hat{B}_δ , se obtiene el siguiente valor de N_r :

$$N_r = \frac{\sqrt{2} * 69,86}{60\pi * 0,9078 * 0,036 * 0,030 * 0,63 * 0,9008}$$

$$N_r = 942,01 \approx 942$$

- **Número de conductores por ranura z_Q [20]**

Al determinar el número de vueltas totales N_s , se determina el número de vueltas por ranura con la siguiente ecuación:

$$z_Q = \frac{2am}{Q_r} N_r \quad (\text{Ec. 107})$$

Donde:

a = Trayectoria de corriente. El valor de la trayectoria depende de la configuración de las bobinas de fase, al tener bobinas de fase en serie se dispone de una única ruta de la corriente donde $a = 1$, y para rutas de corriente en paralelo un valor de $a = 2$. En ocasiones se aconseja conectar las bobinas en serie, debido a que no se crean corrientes circundantes en la máquina entre los pares de polos. En trayectorias paralelas resultan en un mayor número de conductores por ranura z_Q , lo cual es favorable para evitar el efecto Skin y corrientes circundantes en los bobinados y es empleado generalmente en máquinas de gran potencia (voltaje de línea inferior a 24 kV) [15] [20]. Para el diseño

y tomando en cuenta las recomendaciones dadas se toma un valor de $a = 1$. Y para el número de ranuras

$$z_Q = \frac{2 * 1 * 1}{24} * 942$$

$$z_Q = 78,5 \approx 79$$

- **Sección transversal del conductor [20]**

$$S_{cr} = \frac{I_r}{a J_r} \quad (\text{Ec. 108})$$

Donde:

S_{cr} = Sección transversal del conductor del hilo de cobre (mm).

I_r = Corriente del rotor (A).

J_r = Densidad de corriente (A/mm²)

Para determinar la corriente del rotor según [20] se emplea la ecuación (Ec. 100):

$$I_r = \frac{P}{m\eta U_{r.ph} \cos \varphi} \quad (\text{Ec. 109})$$

Donde:

P = Potencia de salida eléctrica.

η = Eficiencia.

$U_{r.ph}$ = Tensión de fase del rotor \approx voltaje de fase V_n

φ = Factor de potencia.

Para la determinación de la eficiencia se realiza una estimación utilizando la figura 36.

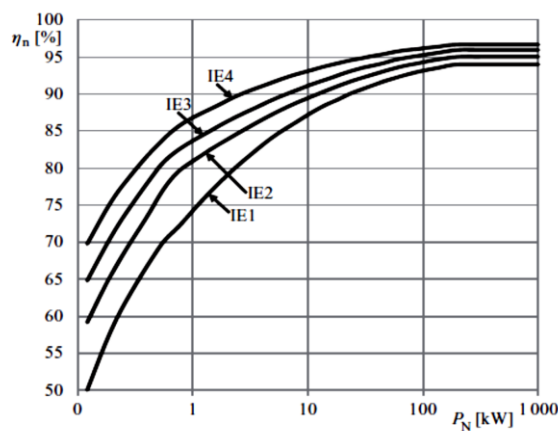


Figura 36. Límite de eficiencia nominal (según métodos de prueba especificados en IEC 60034- 30-1:2014) Fuente: [20]

Las siglas “IE” hacen referencia a eficiencia energética, seguidas de un número que representa su clasificación [20].

Tabla 18 Clases de eficiencia IE (Eficiencia Internacional)

IE1	Eficiencia estándar
IE2	Alta Eficiencia
IE3	Eficiencia Premium
IE4	Super Premium Eficiencia

Fuente: [38]

Se toma una alta eficiencia (IE2) por consideraciones de diseño, con un valor de $\eta = 0,83$. Reemplazando los valores conocidos se obtiene:

$$I_r = \frac{1100}{2 * 0,83 * 69,86 * 1}$$

$$I_r = 9,49 A$$

La densidad de corriente es asumida por diseño del anexo A. 2, con un valor de $6,5 A/mm^2$, reemplazando estos dos valores en la ecuación (Ec. 108) se obtiene:

$$S_{cr} = \frac{9,49}{2 * 6,5}$$

$$S_{cr} = 0,73 mm^2 = 7,3e - 7 m^2$$

El tamaño del alambre es determinado mediante el anexo A. 5, aproximando a su valor superior la sección del conductor a $0,823 mm^2$, dando un calibre N. 18 AWG (American Wire Gauge), Sin embargo, el número de conductores por ranura no es factible como se aprecia en figura 37.

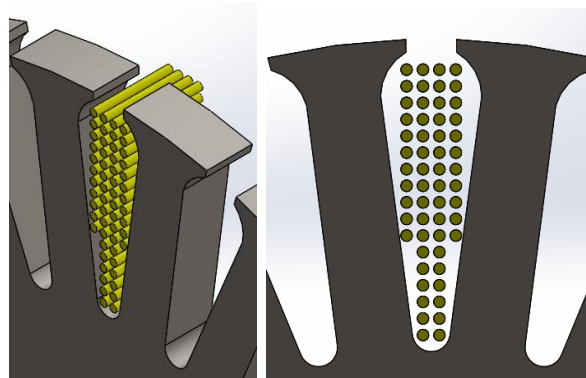


Figura 37. Número de conductores por ranura simulado. Fuente: Autor

Realizando una aproximación de manera gráfica en software, se puede constatar que los 79 conductores por ranura que la ecuación (Ec. 107) determinó, no pueden ingresar en su totalidad. De manera gráfica se puede determinar una cantidad de 56 conductores por ranura. Sin embargo, de manera práctica no se consideraron los aislantes y la forma para realiza el bobinado de la ranura. Por tanto, se procede a bajar el número de vueltas a 50 para una mejor distribución de los conductores en la ranura. Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 19. Valores determinados con 50 conductores por ranura.

		Valor	Ecuación.
Número de conductores que pasa por una ranura	z_Q	50,00	(Ec. 107)
Número de vueltas totales (por fase)	N_r	300,00	(Ec. 102)
Voltaje por fase	V_n	51,96 V	(Ec. 104)
Fuerza electromotriz	E_m	57,16 V	(Ec. 103)
Longitud efectiva ideal	l'	0,0429	(Ec. 14)
Voltaje	V	90 V	

Fuente: Autor

El voltaje que según fórmulas se pretende obtener es de 90V, sin embargo, este valor puede variar dependiendo de las condiciones de trabajo en las cuales la máquina se encuentre operando. Al realizar la simulación del generador en software, se obtuvo un valor de voltaje de 94.1V como se aprecia en la figura 38.

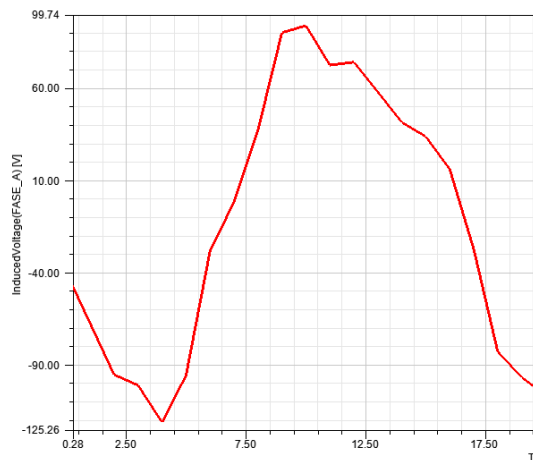


Figura 38. Voltaje de fase vs tiempo. Fuente: Autor

2.2.2.3 Determinar la potencia, voltaje y amperaje del generador.

Mediante cálculos se ha determinado los valores que el generador podrá aportar, puesto que estos valores son ideales. Se realiza una instalación de instrumentos de medición que registre los datos requeridos que son: voltaje, amperaje, revoluciones por minuto y caudal.

Para la medición de estos valores se utilizan los siguientes componentes:

- **Sensores**

Sensor de voltaje

La medición del voltaje se la realiza en paralelo, constan de una resistencia eléctrica elevada para su medición. Realiza la medición de la diferencia de tensión o potencial existente entre dos puntos de un mismo circuito eléctrico. [39]



Figura 39. Sensor de voltaje FZ1440 Fuente: [39]

Sensor de intensidad de corriente

Sensor de corriente ACS712 como se muestra en la figura 40, sensor tanto para C.C como para C.A., tiene como finalidad medir la intensidad eléctrica que es atravesada por un campo. La medición de la intensidad de corriente se la realiza en conexión en serie. [40]

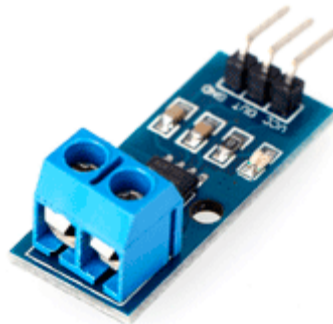


Figura 40. Sensor de intensidad de corriente ACS712 Fuente: [40]

Sensor de velocidad de rotación

Se emplea para la medición del giro del eje del rotor un sensor óptico roscado como lo muestra la figura 41, el cual emite un haz de luz roja visible y presenta un rango de medición de 1-50,000 RPM. Al detectar un intervalo de tiempo menor al prefijado interviene por conmutación indicando el aumento de la velocidad y viceversa. [41]



Figura 41

Sensor de proximidad capacitivo Fuente: [41]

Caudalímetro ultrasónico digital

Se presentan diversos tipos de medidores de caudal en el mercado, sin embargo, considerando que se requiere un método de medición en el cual no se vea afectada la continuidad de la tubería se opta por un medidor ultrasónico digital. El caudalímetro ultrasónico digital TUF-2000M utiliza microprocesadores, presenta un rango de medición en tubería de DN15mm a DN6000mm, la transmisión de información es de hasta 1 km. Consta de una interfaz RS-485 para el módulo de conexión y medidores secundarios, esta característica permite integrar una serie de módulos en un medidor de flujo multicanal [42].



Figura 42 Caudalímetro ultrasónico digital TUF-2000M Fuente: [42]


CAPÍTULO 2










METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Se detallan los materiales y equipos utilizados en la instalación y montaje de las turbinas en la cascada en la tabla 20, mientras que los materiales y equipos utilizados para la construcción del generador se presentan en la tabla 21.

Tabla 20. Materiales y equipos para turbinas

Denominación	Norma	Material	Cantidad	Figura
Válvula de compuerta	$\varnothing = 4 \text{ in}$	Bronce	1	
Pernos de anclaje	1/2 x 4 1/2	Acero	8	
Manguera negra	$\varnothing = 4 \text{ in}$	PE-LD	50 m	
Válvula de bola	$\varnothing = 4 \text{ in}$	UPVC	2	
Perfil C de sujeción	$\varnothing = 4 \text{ in}$	Acero	4	
Taladro industrial	Roto martillo Bosh	—	1	
Broca con punta de diamante	$\varnothing = 1/2 \text{ in}$	—	2	
Caudalímetro ultrasónico digital	TUF- 2000M	—	1	

Denominación	Norma	Material	Cantidad	Figura
Turbo-bomba Pelton	1000 x 370 x 750 mm	—	1	
Turbo-bomba Michell-Banki	90,55 x 30 x 43,35 mm	—	1	
Tubería de PVC	$\varnothing = 4 \text{ in}$	PVC	4	
Unión universal	$\varnothing = 4 \text{ in}$	Acero galvanizado	2	
Válvula antirretorno	$\varnothing = 2 \text{ in}$	Latón	1	
Manguera negra	$\varnothing = 2 \text{ in}$	PELD	15 m	
Medidor de amperaje, voltaje, rpm y caudal	—	—	1	
Correa Tipo A	A-60 Correa en V clásica	Caucho con cable de poliéster	2	
Correa Tipo B	B-60	Caucho con cable de poliéster	2	

Fuente: Autor

Tabla 21. Materiales y equipos en el generador

Denominación	Norma	Material	Cantidad	Figura
Imán permanente de neodimio N52	2 x 1 x 1/2 in	NdFeB	12	
Estator ranurado	—	Aleación 1060 (Aluminio)	1	
Alambre de cobre	AWG N° 18	Cobre	700 gr	
Lámina ranurada	—	Acero A36	10	
Tuerca de seguridad	M24	Acero inoxidable	1	
Carcasa soporte del generador	—	Acero	1	
Rodamiento rígido de bolas	SKF 61903	Acero al carbono	1	
Rodamiento rígido de bolas	SKF 61907	Acero al carbono	1	
Inductor magnético	—	—	1	
Anillos colectores	2 anillos	—	1	

Denominación	Norma	Material	Cantidad	Figura
Eje	—	AISI 1020	1	
Micas	Clase térmica B	Mylar	24	
Cartulina	Cartón prensado	Catón	2	
Barniz	WEG	Resina alquídica modificada	—	
Resina epóxica	—	—	1l	
Catalizador	—	—	120 cc	
Fibra de vidrio	—	—	500 gr	
Amperímetro analógico	—	—	1	

Fuente: Autor

2.2 Métodos

En este proyecto técnico se han considerado los siguientes métodos de investigación:

2.2.1 Cualitativo

En este proyecto técnico determinará las condiciones más favorables a la cual el generador trabajará utilizando los datos obtenidos en campo mediante un multímetro adaptado para las mediciones de voltaje, amperaje, rpm y caudal.

2.2.2 Descriptivo

Se requiere del estudio descriptivo dado que se requiere detallar las características que influyen en el funcionamiento del generador como sus dimensiones, la variación de resistencias y caudal.

2.2.3 Exploratorio

Con la finalidad de realizar un análisis a los parámetros de construcción que influyen en el generador de imanes permanentes de neodimio con estator de polos salientes, se explorará su funcionamiento y diseño, los cuales no se han analizado con anterioridad en este tipo de configuración al usar un campo magnético permanente.

2.2.4 Bibliográfico


El método bibliográfico brinda la información requerida para el diseño y construcción del generador de imanes permanentes de neodimio, mediante libros, páginas web, revistas científicas. Este método de investigación se empleó para el marco teórico, de manera similar se utilizó para determinar fórmulas que facilitaron el dimensionamiento del generador, la obtención de información que describa el principio de funcionamiento de los rotores bobinados y procesamiento de la información obtenida para su posterior interpretación.






2.3 Ejecución del proyecto




2.3.1 Construcción del sistema hídrico

Se presenta a continuación la forma en la cual el presente proyecto se llevó a cabo.

Tabla 22. Proceso de instalación de equipos y materiales en la cascada

Ítem	Actividad	Descripción	Observación
1	Medición de caudal	Se identifica una cascada con salto de agua de 30m y se mide el caudal de manera empírica con un balde de 6l y una tubería de PVC de 4in.	
Ítem	Actividad	Descripción	Observación

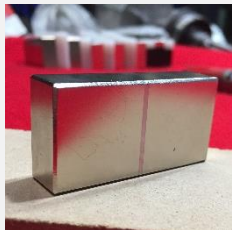
2	Instalación de tubería	Se ancla la tubería de 4in de 50m a la roca usando el roto martillo y anclándola con el perfil c de sujeción y los pernos de anclaje desde la parte alta de la cascada hacia abajo	
3	Anclaje de estructura	Utilizando mezcla de cemento se instala en la parte inferior de la cascada la estructura de soporte de las turbinas.	
4	Casa de máquinas	Con la finalidad de mantener las máquinas y equipos protegidos, se realiza una construcción para casa de máquinas con madera	
5	Instalación de turbinas	Se ancla las turbinas Pelton y Michell-Banki con sus respectivas bombas y el generador de imanes permanentes de neodimio con estator de polos salientes.	
6	Accesorios	Se acoplan a la manguera la válvula de compuerta de 4 in y la unión universal al inicio y fin de la manguera.	
Ítem	Actividad	Descripción	Observación







7	Sistema de bombeo	Se instala una válvula antirretorno en la manguera de succión de la bomba, y se procede a cebar la misma con el fin de que la bomba trabaje sin aire en el sistema.	
8	Caudalímetro	Se instalan los sensores del caudalímetro en la tubería.	
9	Tanque reservorio	La captación de caudal se la realiza por medio de 4 tubos de PVC de 4 in, con mallas metálicas como filtros a la entrada del caudal para evitar el paso de piedras o basura que ocasionen inconvenientes a las turbinas	






Fuente: Autor

2.3.2 Construcción del generador de imanes permanentes

Tabla 23. Construcción del generador de imanes permanentes

Ítem	Actividad	Descripción	Observación
1	Selección y compra de los imanes N52	Se seleccionan los imanes de Neodimio N52 por ser los más fuertes en el mercado y mediante cálculos de potencia entre los imanes empleados por: [35] [36]	
Ítem	Actividad	Descripción	Observación

2	Porta imanes	Se procede a realizar mediante cepillado las ranuras donde se insertarán los imanes de neodimio e insertarla en ajuste en la carcasa de soporte.	
3	Colocación de imanes	Con la ayuda del amperímetro analógico se orientan las polaridades del imán y son colocados con fibra de vidrio y resina epóxica, para mantener fijo a los imanes.	
4	Pulido y limpieza del estator	Se realiza el pulido de las zonas excedentes de resina y fibra de vidrio, se pule la zona interna con lija para evitar el roce y daño de los imanes.	
5	Maquinado del eje	Al realizar los cálculos pertinentes para el dimensionamiento del eje, se procede a realizar el torneado del mismo.	
6	Ranurado del rotor	Una vez realizado el cálculo del dimensionamiento del rotor, se procede al corte de las ranuras, limpieza y montaje en el eje	
7	Aislamiento del rotor	Se realiza el aislamiento del eje y sus ranuras utilizando micas aislantes y cartulinas para las láminas de A36 frontal y posterior.	
Ítem	Actividad	Descripción	Observación

8	Bobinado del rotor	Se realiza el bobinado por polos en cada ranura del rotor y soldando sus extremos al anillo colector.	
9	Colocación de rodamientos	Utilizando un inductor magnético se calienta el rodamiento para facilitar su colocación en el eje.	
10	Barnizado del rotor	Se aplica barniz para recubrir el bobinado del rotor, con la finalidad de incrementar la resistencia a al calor del alambre y mantener adheridos.	
11	Balanceo del rotor	Se procede al balanceo del rotor para evitar vibraciones en el generador y coincidir el centro de gravedad con su centro de rotación.	
11	Montaje del rotor a la carcasa	Debido a que la estructura que aloja todo el bobinado y los imanes es reciclada se mantiene una alineación en los centros del eje	

Fuente: Autor

2.4 Plan de recolección de la información



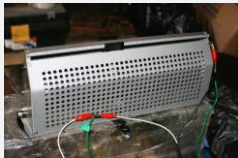
Por medio de libros, artículos científicos, investigaciones previas e internet, se recolecta la información requerida para el dimensionamiento del generador. Al aplicar ecuaciones y fundamentos teóricos se determinan las dimensiones generales del

generador y su entrega de energía. Mientras que para la obtención de datos prácticos se realizan mediciones en campo utilizando las turbo-bombas Pelton y Michell-Banki con la finalidad de identificar su mejor aporte energético. Los datos son almacenados para su posterior interpretación

2.5 Plan de procesamiento y análisis

Los datos recolectados se tomarán valores promedios en función del caudal para su mejor interpretación, dado que la cantidad de datos obtenida se limita a describir un comportamiento claro de funcionamiento del generador. En la tabla 24 se realiza un breve resumen de las actividades realizadas para la recolección de datos.

Tabla 24. Recolección de datos

Ítem	Actividad	Observación	Figura
1	Medición de caudal	Utilizando un caudalímetro ultrasónico digital TUF-2000M se obtuvieron los datos de caudal en m^3/h cada segundo de prueba	
2	Medición de voltaje, amperaje, rpm	Los datos de voltaje y amperaje son obtenidos mediante una configuración en la parte interna de multímetro y las revoluciones mediante sensor de velocidad de rotación. Se almacenan los datos de voltaje, amperaje, caudal y rpm	
3	Variación de resistencias	Utilizando el reóstato que dispone la Universidad Técnica de Ambato en los talleres de la FICM, se varía el ohm.	

Fuente: Autor

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

En las figuras 43 a 54 se presentan los resultados obtenidos en campo utilizando una altura de 30m para el salto de agua hacia las turbinas Pelton y Michell-Banki, se puede identificar el comportamiento del generador a diferentes cargas de ohm.

Estos datos se obtuvieron por medio del multímetro realizado para la recolección de los datos. En este proyecto se consideraron cargas de 20° hm, 30 ohm, 40 ohm, 60 ohm, 80 ohm y 100 ohm. Con el fin de determinar la potencia de salida máxima del generador, considerando que el calibre del alambre es N. 18 AWG el cual tiene un valor de entrega máximo de 2,3 A.

En la realización del proyecto se contó con dos rotores con diferente material de rotor (acero al silicio M19 y A36) e igual bobinado. En las gráficas se aprecia una comparación de ambos rotores a mismas condiciones de carga

3.1.1 Rotor A36 y rotor de acero al Silicio M19 con turbina Michell-Banki

3.1.1.1 Voltaje vs rpm

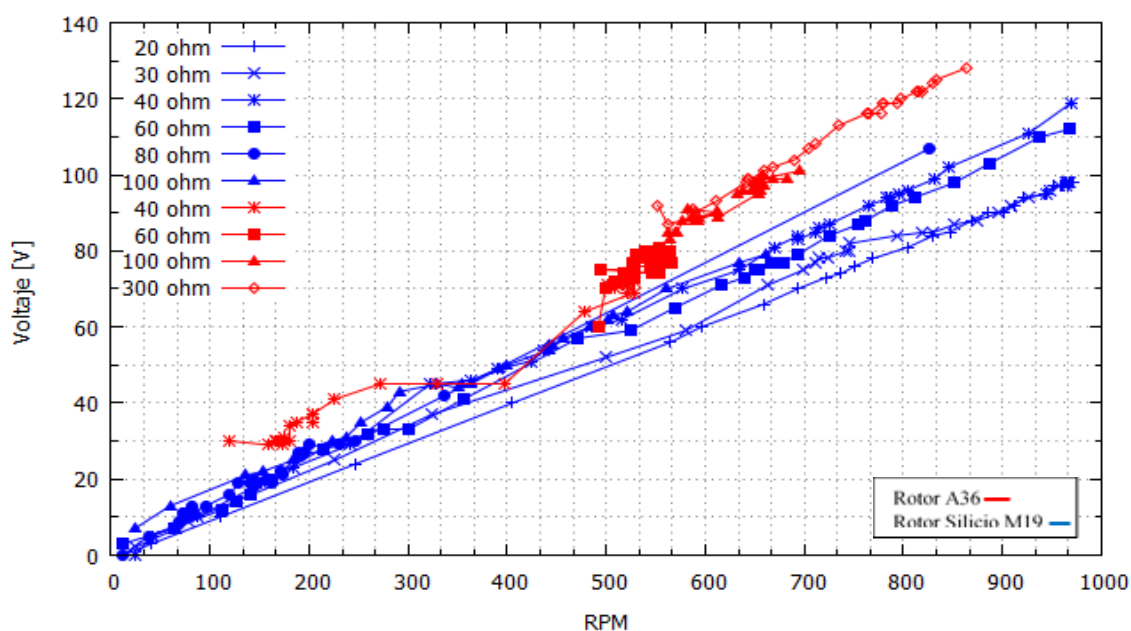


Figura 43. Voltaje vs rpm rotor A36 y rotor de acero al Silicio M19 con turbina Michell-Banki

Fuente: Autor

Se puede apreciar en la figura 43 con el rotor de A36 inician su puesta en marcha a revoluciones mayores a las del silicio, esto se debe a que la fuerza del campo magnético que generan los imanes respecto al rotor de A36 y más las resistencias de bajo ohm son demasiado fuertes para romper la inercia del generador.

Los datos obtenidos con cargas de 20 y 30 ohm mantienen voltajes bajos, con el rotor de acero al Silicio M19 los datos oscilan entre los 97,91 V a 958 rpm, mientras que tienden a seguir creciendo en voltaje las cargas de mayor ohm llegando a voltajes 119,08 V a 970 rpm. A 600 rpm se puede alcanzar un valor de 75 V, mientras que el rotor de A36 alcanza 93,02 V a similares 611 rpm, sin embargo, con una resistencia de 300 ohm. Al usar una resistencia de 30 ohm a 519 rpm se obtiene, 75,77 V antes que el generador se recaliente.

Las pruebas realizadas con el rotor de A36 iniciaron con una resistencia de 300 ohm misma que generó un voltaje máximo de 128,32 V a 863 rpm. Sin embargo, este valor de resistencia no es representativo para uso industrial. Se limito a realizar pruebas hasta 30 ohm debido a que su calentamiento suponía un problema para las pruebas.

Al analizar la gráfica se puede identificar un mejor comportamiento con el rotor de acero al Silicio M19, mismo que mantiene un voltaje de manera creciente. Sin embargo, se presentaba sobrecalentamiento con el rotor de A36 en periodos prolongados de funcionamiento. En el rotor de A36 se obtenían 120 °C en el bobinado del rotor y 80 °C en el eje, mientras que el rotor de acero al Silicio M19 presentaba un rango de temperatura de 40°C.

El rotor de acero al Silicio M19 rompe la inercia que los imanes y las resistencias oponen a su movimiento desde 24 rpm hasta un valor máximo de 1100 rpm, manteniéndose de manera creciente. Sin embargo, el rotor de A36 inicia a funcionar a 120 rpm y se limita a 850 rpm por el calor que es generador.

La interpretación de los datos en gráficas, se limitará a los generados con el rotor de Silicio M19 debido a que se aprecia en la figura 43 que mantiene un crecimiento lineal de voltaje y no sufre recalentamiento el bobinado.

3.1.1.2 Amperaje vs rpm

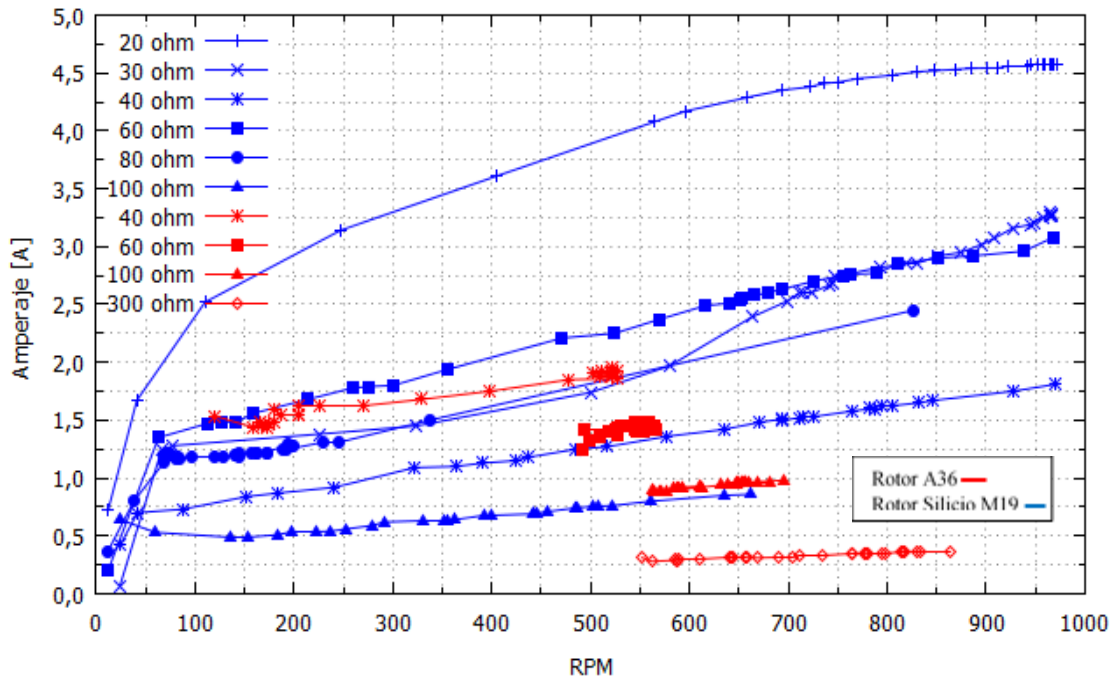


Figura 44. Amperaje vs rpm rotor A36 y rotor de acero al Silicio M19 con turbina Michell-Banki

Fuente: Autor

Se puede identificar en la figura 44 que el amperaje que se puede conseguir es de 4,57 amperios con un valor de resistencia de 20 ohm en el rotor de acero al Silicio M19 a 958 rpm, mientras que con el rotor de A36 se puede obtener un valor de 1,92 A y 641 rpm.

Se puede apreciar que las resistencias de 100, 80 y 60 ohm entregan amperaje bajo, mismos que oscilan entre 2 a 0,5 A para ambos tipos de rotores. Por ende, en las siguientes interpretaciones de resultados se graficarán las resistencias restantes, con el objetivo de determinar su uso doméstico y/o industrial.

Al aplicar resistencias de 30 y 40 ohm en el rotor de A36 se limitaba su funcionamiento al requerir de mayor caudal para generar un incremento de rpm y poder vencer el campo magnético, debido a que la temperatura incrementaba en el generador se limitó a usar resistencias superiores a 30 ohm. Mientras que con el rotor de acero al Silicio M19 el generador seguía entregando valores ascendentes de amperaje incluso con aplicaciones de resistencia de 20 ohm.

3.1.2 Rotor A36 y rotor de acero al Silicio M19 con turbina Pelton

3.1.2.1 Voltaje vs rpm

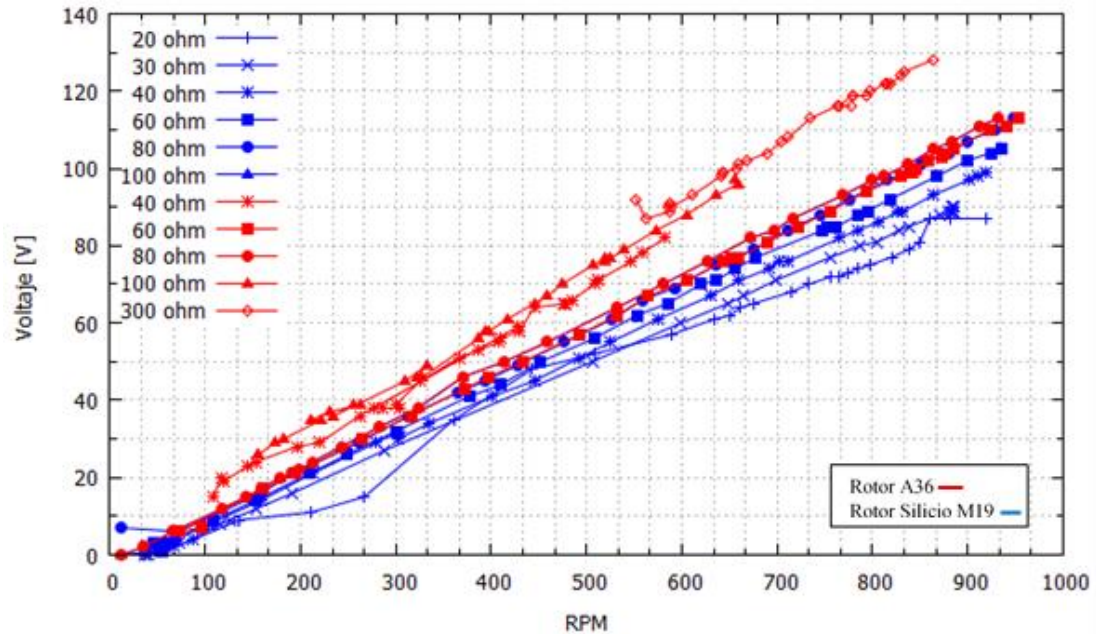


Figura 45. Voltaje vs rpm rotor A36 y rotor de acero al silicio M19 con turbina Pelton Fuente: Autor

En la figura 45 se identifica que el rotor de acero al Silicio M19 mantiene un crecimiento constante de revoluciones al inician su funcionamiento, mientras que el rotor de A36 inicia con valores de revolución elevados.

Se puede apreciar que el voltaje obtenido por rotor de acero al Silicio M19 se mantienen creciente de manera lineal hasta 113,79 V con una resistencia de 100 ohm, mientras que el rotor de A36 se genera 128,32 V a 863 rpm con una resistencia de 300 ohm y 76,48 V a 520 rpm con una resistencia de 100 ohm. Dando a entender que se requiere mayor caudal para incrementar su voltaje. Sin embargo, la turbina Pelton trabajaba hasta los 80 m³/h de caudal mientras que la turbina Michell-Banki trabajaba hasta 150 m³/h.

De manera similar que con la turbina Michell-Banki el rotor de A36 incrementaba su temperatura hasta los 120 °C, por tanto, se limitó de manera similar su uso continuo en la turbina Pelton.

3.1.2.2 Amperaje vs rpm

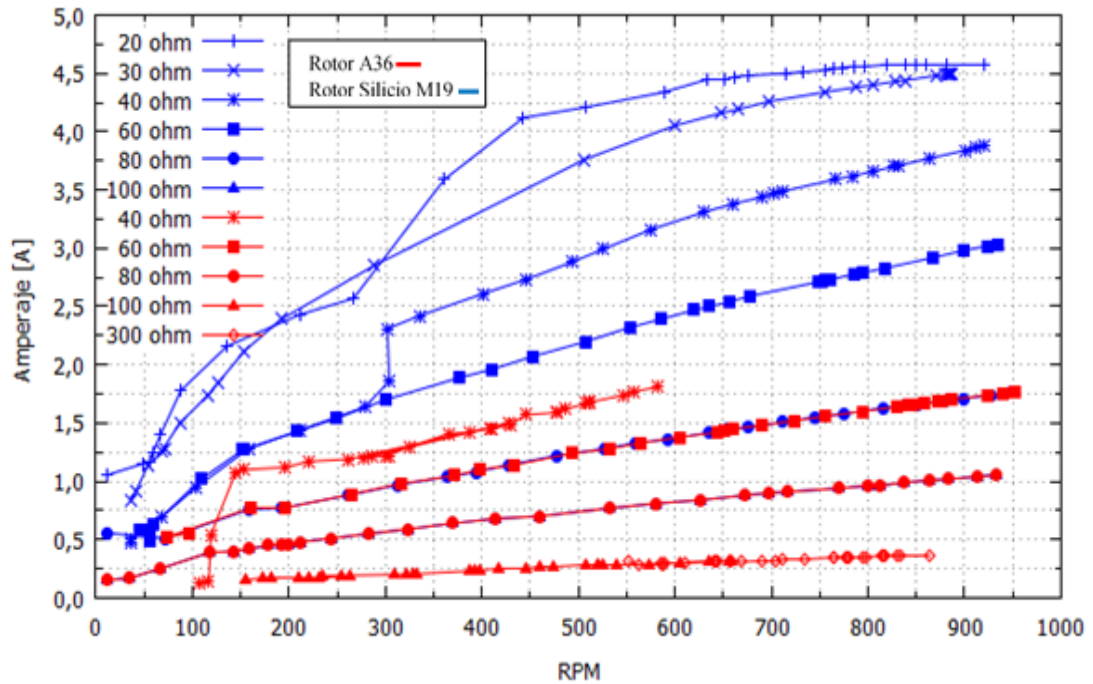


Figura 46. Amperaje vs rpm rotor A36 y rotor de acero al silicio M19 con turbina Pelton Fuente:

Autor

Se aprecia en la figura 46 que el rotor de acero al Silicio M19 a 797 rpm genera un amperaje máximo de 4,39 A, mientras que el rotor de A36 a 582 rpm entrega 1,81A antes de incrementar su temperatura o se requiera un incremento en el caudal para que el número de revoluciones incremente y genere una entrega de amperaje mayor. De tal manera que los rangos de operación del rotor de A36 se ven reducidos en amperaje hasta 1,81A, mientras que el rotor de acero al Silicio M19 puede entregar hasta 4,39 A con una resistencia de 20ohm a 920rpm.

La turbina Pelton presentaba un inyector para la regulación del diámetro de salida del caudal hacia las cucharas, en este proyecto se utilizó un número de 10 vueltas de apertura con la finalidad de obtener la mejor eficiencia de la turbina según [21].

Las líneas de tendencia que el rotor de acero al Silicio M19 genera, se mantienen de manera lineal creciente al igual que con la turbina Michell-Banki.

Al igual que en el caso de la turbina Michell-Banki las resistencias de 100, 80 y 60 ohm no generan un amperaje superior a 2 A. en ambos rotores. Por tanto, estas resistencias no se considerarán en interpretaciones posteriores.

Realizando una comparación entre los datos obtenidos para las turbinas Michell-Banki y Pelton, se procede a utilizar los datos obtenidos por el rotor de acero al Silicio M19 con las resistencias de 20, 30 y 40 ohm. Sin embargo, los resultados obtenidos por el rotor de A36 ser presentaran en tablas en el anexo C.

3.1.3 Rotor de silicio M19 y turbina Michell-Banki

3.1.3.1 Voltaje vs rpm

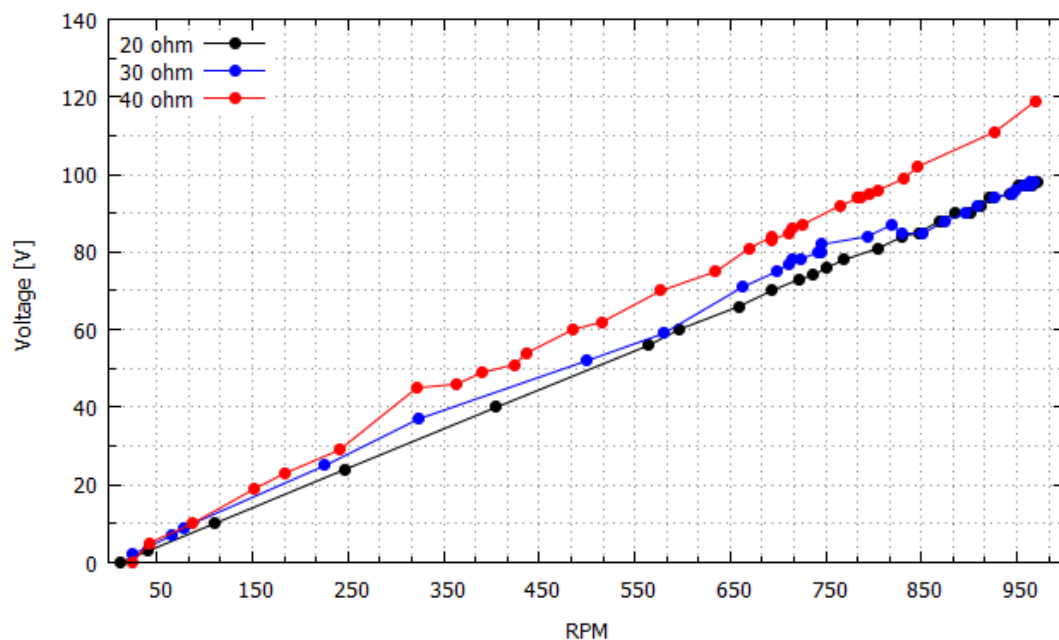


Figura 47. Voltaje vs rpm rotor de acero al silicio M19 y turbina Michell-Banki Fuente: Autor

En la figura 47 se muestra el voltaje obtenido en función de rpm entregadas por la turbina Michell-Banki en la cual tienden a mantenerse en crecimiento. Los datos obtenidos con cagas de 20 y 30 ohm mantienen valores bajos de voltaje las cuales oscilan entre los 100 V a 975 rpm.

A 635 rpm se puede alcanzar un valor de 75,4V con una resistencia de 40 ohm, sin embargo, con resistencias de 20 y 30ohm se obtiene un voltaje cercano a 60V. Mientras que a 950 rpm con 20 y 30 ohm el voltaje es de 98 a 100 V y para una resistencia de 40 ohm se puede llegar a un voltaje de 119 V a 970 rpm.

3.1.3.2 Amperaje vs rpm

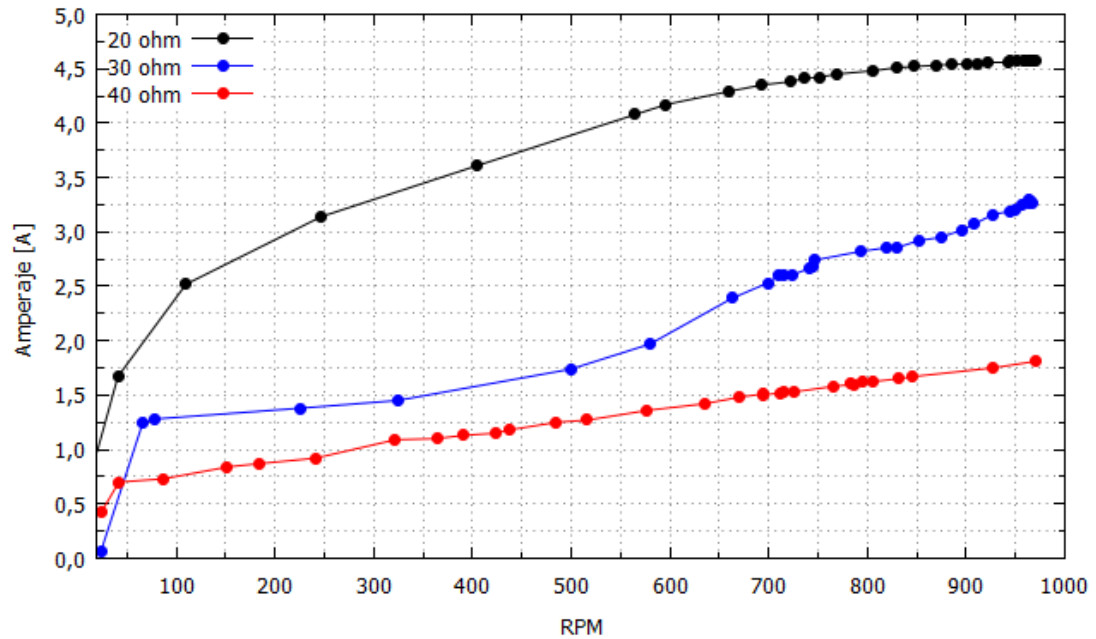


Figura 48. Amperaje vs rpm rotor de acero al Silicio M19 y turbina Michell-Banki Fuente: Autor

Los datos representados en la figura 48 muestran un comportamiento creciente en todos los casos de las resistencias.

Se puede apreciar que a 600 rpm el amperaje es próximo a 4,1 A, hasta alcanzar 4,57 A con una resistencia de 20 ohm a 958 rpm. Mientras que las resistencias de 30 tienden a permanecer a 3,29 A con revoluciones cercanas a 964 rpm. Y a 40 ohm se puede alcanzar un amperaje máximo de 1,81 A. a 970 rpm

3.1.3.3 Potencia vs rpm

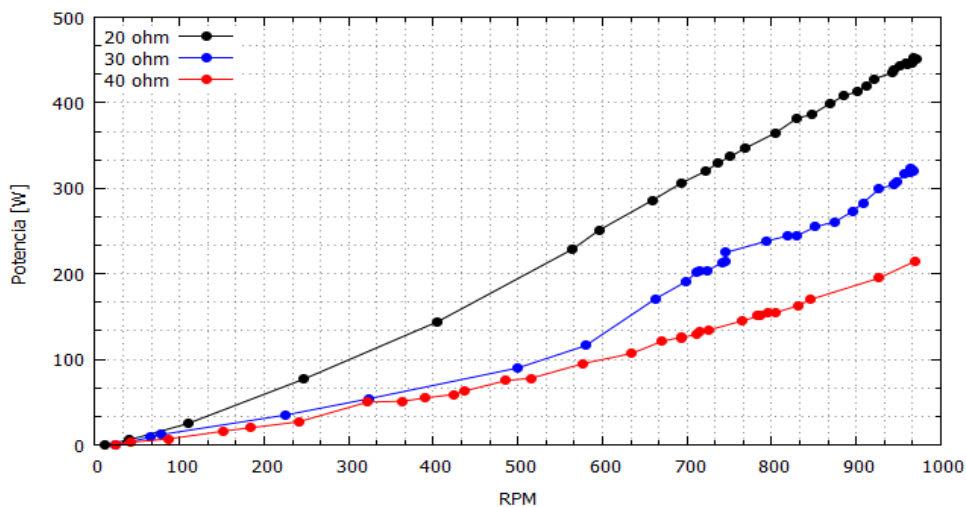


Figura 49. Potencia vs rpm rotor de acero al silicio M19 y turbina Michell-Banki Fuente: Autor

Se puede apreciar en la figura 49 como es notorio el valor de potencia que es entregado por el generador. El cual tiene un valor de 447,45 W como potencia máxima de entrega, a diferencia de las resistencias de 30 y 40 ohm que alcanzaron 324 W a 964 rpm. Haciendo una comparación con la figura 47, a mayor ohm se obtiene un voltaje alto con una potencia baja de entrega y viceversa.

3.1.3.4 Potencia vs caudal

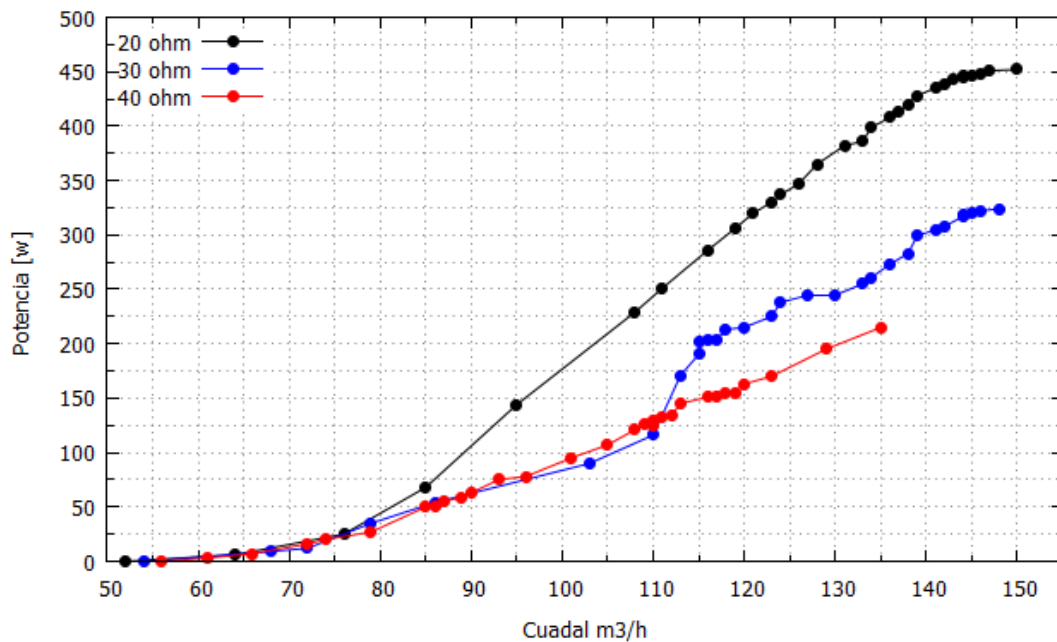


Figura 50. Potencia vs caudal m³/h rotor de acero al silicio M19 y turbina Michell-Banki Fuente:

Autor

Se aprecia en la figura 50 que el generador requiere un caudal de 52,97 m³/h (14,71 lt/s) para iniciar su funcionamiento hasta alcanzar un caudal de 150,1 m³/h (41,69 lt/s) en cuyo caso se obtuvo una potencia de 452,48 W. Se puede apreciar que a 30 ohm tiende a permanecer con una potencia de 324 W con un caudal de 148,71 m³/h y a 40 ohm solo se obtienen 215,53 W a 135,96 m³/h. Por otra parte, al incrementar el caudal hasta 150,1 m³/h se aprecia una potencia superior con la resistencia de 20 ohm muy notable.

El caudal que es aplicado para el movimiento del generador es también utilizado para iniciar el movimiento de la bomba conectada al sistema de transmisión de potencia de la turbina. En este proyecto se obtuvo potencia eléctrica y bombeo, por tal motivo se aprecia cómo es requerido un caudal de 52 m³/h para iniciar su movimiento.

3.1.4 Rotor de acero al Silicio M19 y turbina Pelton

3.1.4.1 Voltaje vs rpm

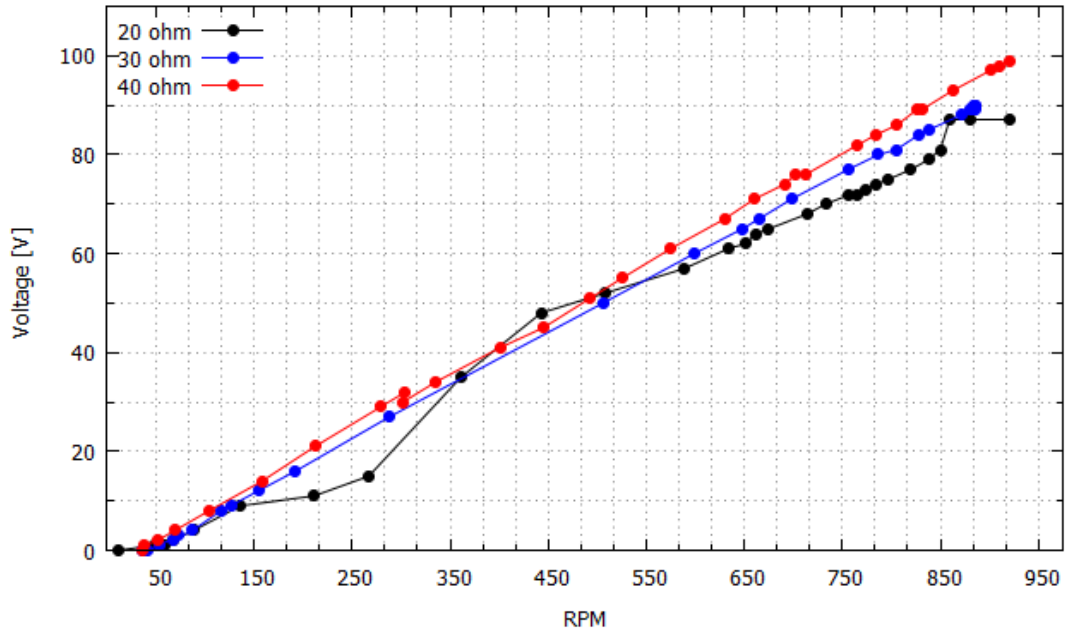


Figura 51. Voltaje vs rpm y rotor de acero al Silicio M19 con turbina Pelton Fuente: Autor

En figura 51 se puede identificar el comportamiento del voltaje en función de la resistencia que se aplica que permanece creciente de manera lineal, el voltaje máximo que se obtiene es de 99,81 V a 920 rpm con una resistencia de 40 ohm. A 920 rpm se obtiene 87,69 V los cuales a 20 ohm.

3.1.4.2 Amperaje vs rpm

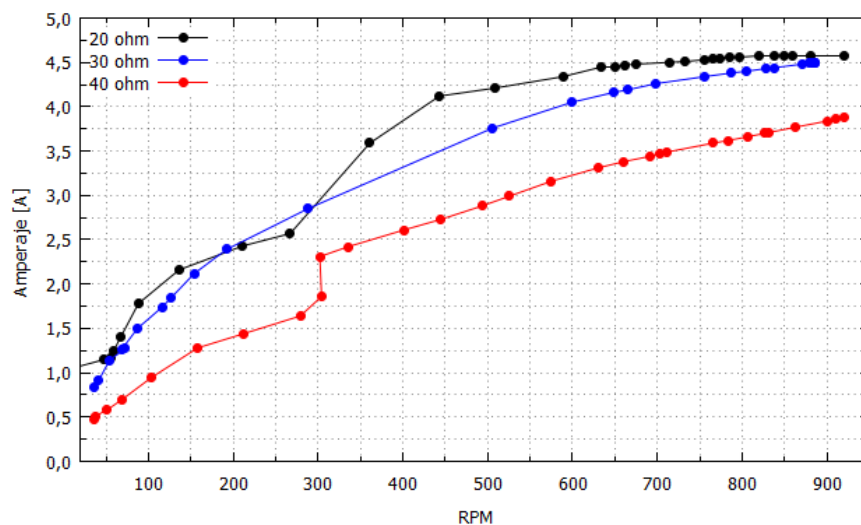


Figura 52. Amperaje vs rpm y rotor de acero al Silicio M19 con turbina Pelton Fuente: Autor

El amperaje obtenido con la turbina Pelton se presenta de manera creciente en la figura 52. En la cual a 920 rpm un amperaje de 4,57 A y una resistencia de 20 ohm, mientras que con una resistencia de 40 ohm se obtienen 3,88 A con un rango aproximado de 920 rpm. A 600 rpm se puede generar un amperaje superior a 1,5 amperios para todos los casos de resistencia.

3.1.4.3 Potencia vs rpm

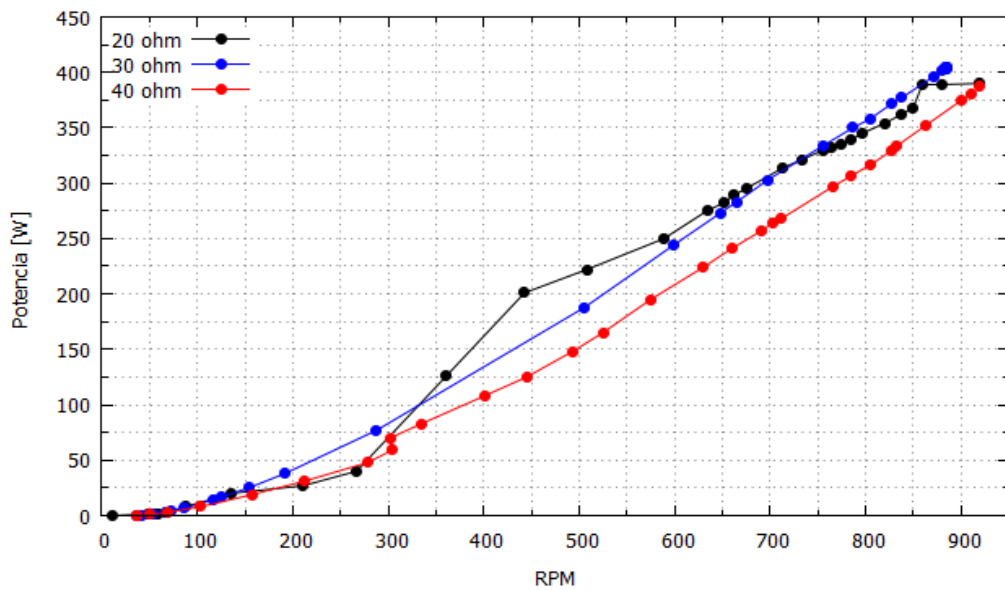


Figura 53. Potencia vs rpm y rotor de acero al Silicio M19 con turbina Pelton Fuente: Autor

La figura 53 denota un comportamiento creciente de la potencia alcanzando un valor máximo de 400,74 W a 920 rpm. A diferencia de la resistencia de 40 ohm que entrega 387,26 W a 920 rpm. La diferencia de potencia que es generada por las 3 resistencias no representa una variación significativa. Sin embargo, se aprecia un crecimiento lineal para los 3 casos.

3.1.4.4 Potencia vs caudal

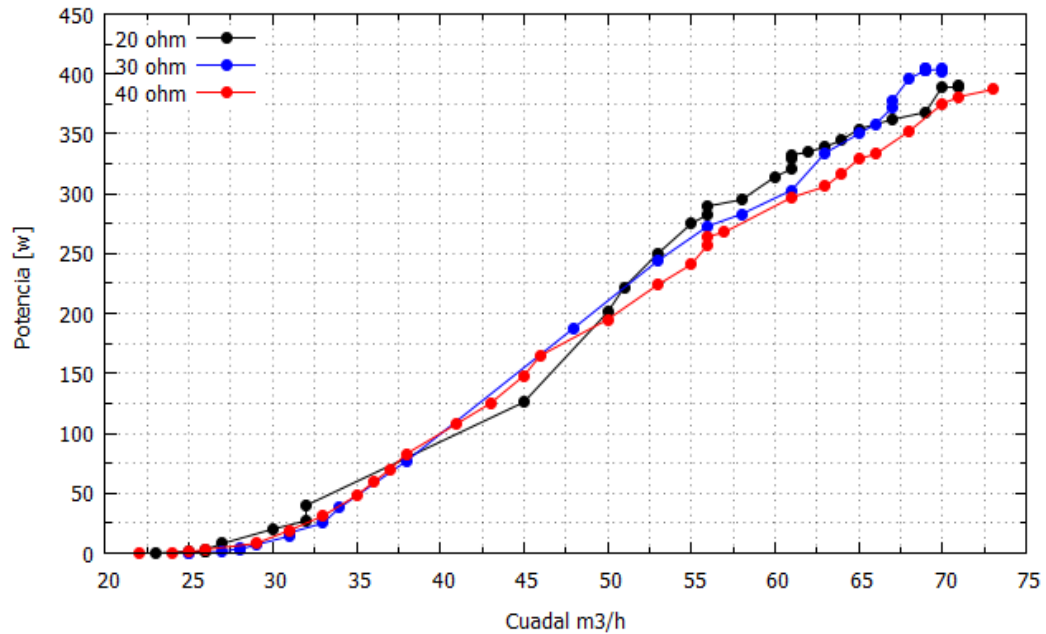


Figura 54. Potencia vs caudal m^3/h y rotor de acero al Silicio M19 con turbina Pelton Fuente: Autor

Se puede identificar en la figura 54 que el generador requiere un caudal promedio de $22 m^3/h$ para iniciar su generación de energía y romper el campo magnético, considerando que el sistema en conjunto también utiliza la potencia de la turbina para mover la bomba. Sin embargo, el caudal al ser incrementado generaba vibración en la base de las turbinas y para evitar algún incidente con las turbinas y la integridad física se procedió a mantener un caudal máximo de $80 m^3/h$.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se determinó el número de pares de polos requeridos para la construcción del generador al identificar las revoluciones a las que trabajará y la frecuencia, partiendo de estos datos se dimensionó el generador. El número de conductores por ranura influye en el voltaje, mientras mayor sea su número de vueltas el generador puede aumentar su voltaje. Por otra parte, el amperaje se limita al calibre del alambre, para un amperaje alto se requiere un calibre de alambre inferior. Estos dos factores reducen la potencia de diseño de 1,1 kW a valores inferiores de 450 W. Por tanto, el rediseñar el área de las ranuras incrementaría el espacio para alojar un calibre menor de alambre e incrementar su número de vueltas por ranura.
- Se identificó que al usar un metal con un contenido elevado de carbono como es el caso del A36, supone un incremento en la densidad de campo magnético que los imanes y el metal generan. Sin embargo, para vencer el campo magnético se requiere de un caudal elevado, mismo que la turbina Michell-Banki puede entregar. Sin embargo, el rotor de A36 presenta un incremento de temperatura a medida que su tiempo de trabajo incrementa en rangos de 40 a 120 °C, por tanto, su uso de manera continua no es factible a pesar que entrega voltajes elevados a bajas revoluciones y con un alto caudal. Mientras que el rotor de acero al Silicio M19 se mantiene una temperatura de alrededor de 40°C en periodos prolongados de trabajo en ambas turbinas.
- El generador de imanes permanentes presenta un mejor funcionamiento con la turbina Michell-Banki debido a que sus revoluciones aumentan a medida que el caudal sube en rangos de 50 - 150 m³/h, a diferencia de la turbina Pelton que requiere menor caudal para iniciar su funcionamiento esta se limita a trabajar en rangos de caudal de 22 a 75 m³/h antes que inicie una vibración excesiva en la base de las turbinas.
- La aplicación de este sistema en conjunto turbo-bomba Michell-Banki y generador de imanes permanentes de neodimio con estator de polos salientes y rotor de acero al Silicio M19 podría ser aplicado para una vivienda a la cual el

servicio eléctrico se vea limitado por el alambrado público y el bombeo del líquido vital sea requerido. El mismo que entrega un voltaje entre 80 a 110 V que puede usarse para equipos eléctricos domésticos y una potencia cercana a 450 W.

4.2 Recomendaciones

- Al realizar la adquisición de los imanes de neodimio prever futuros inconvenientes con los mismos, debido a que son duros pero frágiles y su campo magnético puede verse afectado si llegan a romperse o fracturarse. Considerar tiempo de arribo y evitar contratiempos con tramites en aduana.
- Al insertar los imanes en cada ranura, verificar su polaridad ya sea con un amperímetro analógico o con otro imán, dado que la generación de energía depende de la variación del campo magnético. La tolerancia que debe existir en el ranurado donde se insertarán los imanes debe estar en apriete, con el fin de que los mismos no se desprendan de su ranura y se peguen a otro generando inconvenientes en su separación.
- Retirar los excedentes de resina que se hayan generado para mantener una superficie cilíndrica lo más lisa posible, debido a que el espacio entre el rotor y los imanes debe ser el más pequeño posible y la interferencia con algún objeto presentaría inconvenientes al realizar las pruebas.
- Al realizar el bobinado verificar que los aislantes sobresalgan 1 cm de las láminas de acero de lado a lado y recubrir las láminas frontal y posterior con cartulina gruesa para evitar que el rotor y el alambre entren en contacto y generen un cortocircuito del sistema. En la parte superior del bobinado insertar tiras de bambú o micas de plástico resistentes, con el objetivo de mantener el bobinado en el interior de las ranuras y evitar su desprendimiento. Recubrir el bobinado con barniz con la finalidad de incrementar su resistencia a elevadas temperaturas de trabajo.
- Se debe tener precaución al insertar el rotor ya sea de A36 o de acero al Silicio M19 debido a que la fuerza de atracción de los imanes es muy fuerte y se puede ocasionar alguna lesión, insertar el rotor tomándolo desde la parte posterior del eje mas no del rotor bobinado.

- Los implementos de seguridad deben ser tomados en cuenta, debido que en este proyecto se trabajó a diferencia de alturas y anclaje de la tubería en la roca para prevenir que la misma se deslice o caiga en su totalidad. Al entrar en funcionamiento las máquinas el ruido generado es alto, por lo que se requiere proteger los oídos.
- Para la realización de las pruebas en campo se requiere un mínimo de 2 personas para la apertura del caudal desde la parte superior y el control de las máquinas en la parte inferior. Verificar que las tomas de agua se encuentren limpias y el caudal se desfogue por el tanque reservorio para evitar la pérdida de caudal al iniciar su apertura.
- Debido a que las turbinas trabajan con una turbo-bomba se deben limpiar los filtros ubicados en la manguera de succión para evitar el paso de pequeñas piedras que pueden ingresar a la bomba de diafragma.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. A. Santos y A. E. Pinilla Sepúlveda, “Adaptación de un Generador Eléctrico de Imanes Permanentes y flujo radial,” Universidad de Los Andes, 2005 pp. 1-3.
- [2] L. C. Barragán y I. Sagardoy, “Diseño de un generador eléctrico para sistemas eólicos de baja potencia,” Universidad de Buenos Aires, Argentina, 2010.
- [3] I. Tarimer y C. Ocak, “Performance Comparision of Internal and External Rotor Structured Wind Generators Mounted from Same Permanent Magnets on Same Geometry,” Muğla University, Turkey, 2009.
- [4] G. A. Alcázar, “Imanes permanentes: características, aplicaciones y futuro,” Universidad del Valle, Cali, 2016.
- [5] M. D. Rodríguez Santillán y M. J. León Yungaicela, “Análisis y aplicación de un generador de imanes permanentes para un sistema de energía eólica,” Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2016.
- [6] J. Manzano, “Máquinas eléctricas,” 2^{da} ed, Madrid - España, Paraninfo, 2014, pp. 116-117.
- [7] T. Wildi, “Máquinas eléctricas y sistemas de potencia,” 6^{ta} ed., México D.F., Pearson Educación, 2007, pp. 71-93.
- [8] S. J. Chapman, “Máquinas eléctricas,” Cuarta ed., México D.F., Mc Graw Hill, 2005, p. 559.
- [9] E. Harper, “El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos,” México D.F., Limusa, 2004, pp. 3-5.
- [10] J. J. Manzano Orrego, “Máquinas eléctricas,” México D.F., Paraninfo, 2014, pp. 106-130.
- [11] E. A. Jiménez, “Análisis del diseño y control de un generador trifásico doblemente alimentado,” Universidad de Chile, Santiago de Chile, 2012, p. 41.
- [12] M. Á. Rodríguez Pozueta, “Máquinas de Corriente Continua,” Universidad de Cantabria, España, 2017.
- [13] B. Matienzo. (2011). “279 - Motores Eléctricos,” [En línea]. Disponible en: www.sites.google.com.

- [14] J. F. Mora, "Máquinas eléctricas," 6^{ta} ed., España, Mc Graw Hill, 2008, p. 106.
- [15] I. Boldea y S. A. Nasar, "The induction machines design handbook," United States of America, Taylor & Francis Group, 2010.
- [16] P. PAO-LA-OR y S. SUJITJORN, "Effects of the Geometry of the Rotor Slots on the Mechanical Vibration of Three-phase Induction Motors," University of Technology, Bangkok, 2007.
- [17] M. Greconici, G. Madescu, y M. Mot, "Skin Effect Analysis in a Free Space Conductor," Facta Universitatis (NIS), pp. 1-9, 2010.
- [18] AK Steel. (2001, Feb.) "Selection of electrical steels for magnetic cores," [En línea]. Disponible en: www.brown.edu.
- [19] J. E. Hurtado, "Manual para el rebobinado de motores eléctricos de inducción," Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2010.
- [20] T. J. Juha Pyrhönen y V. Hrabovcová, "Design of Rotating Electrical Machines," India, John Wiley & Sons Ltd, 2014.
- [21] A. J. Barona y Á. D. Dávila, "Diseño y construcción de una turbobomba con turbina pelton," Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2018.
- [22] C. O. Coronel y J. J. Hernández, "Diseño y construcción de una turbo bomba accionada mediante una turbina Michell Banki para riego de cultivos en los sectores vulnerables," Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2018.
- [23] R. Mott L, "Mecánica de fluidos," México: Pearson Educación, 2006.
- [24] R. Budynas y J.K. Nisbett, "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley," 8^{va} ed. México D.F., Mc Graw Hill, 2012.
- [25] B. J. Cornwell, "Mecánica vectorial para ingenieros DINÁMICA," México, D. F. Mc Graw Hill, 2010.
- [26] MOLYTEC .Ltda, "Lubrication of roller bearing," OKS, p. 56, 2014.
- [27] SKF, (2006)."Carálogo general SKF"
- [28] Arelec SAS 2018 - ARELEC, (2008, Mayo 16). "ARELEC aimants et systems magnétiques,". [En línea]. Disponible en: <http://www.arelec.com>.
- [29] A. Obis, (2012, Abril 18) "Micro-Log Tecnología y Sistemas S.L.," [En línea]. Disponible en: www.micro-log.com/mininoticias/que-es-un-iman.pdf.

- [30] Ideg, (2016, Marzo 10) “Imanes de Neodimio y sus aplicaciones industriales,” [En línea]. Available: www.ideg.es.
- [31] G. R. Slemon, (2014, Abril 17) “Encyclopedia Britannica,” Encyclopedia Britannica, inc., 17 Abril 2014. [En línea]. Disponible en: www.britannica.com.
- [32] National Imports LLC, “MAGCRAFT Advanced Magnetic Materials,” [En línea]. Disponible en: www.magcraft.com.
- [33] Permanent Magnet Generator, (2015) “PM More than just another Generator,” [En línea]. Disponible en: www.permanentmagnetgenerator.net.
- [34] Supermagnete, [En línea]. Disponible en: www.supermagnete.es.
- [35] J. H. Chiluiza, “Diseño y construcción de un generador de imanes permanentes de neodimio para una turbina Michell Banki del laboratorio de Energías Alternativas y su caracterización,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2011.
- [36] C.E. Claudio, “Caracterización de un generador de flujo axial para aplicaciones en energía eólica,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2016.
- [37] I. M. Villegas, “Diseño y Análisis preliminar para un generador eléctrico de Alta Velocidad acoplado a una Microturbina. (Microturbogenerador),” Universidad nacional autónoma de México, México D.F., 2013.
- [38] ABB, “IEC 60034-30-1 standard on efficiency classes for low voltage AC motors,” [En línea]. Disponible en: www.abb.com/motors-generators.
- [39] ELECTRONICA ESTUDIO, “Sensor de voltaje,” [En línea]. Disponible en: www.electronicaestudio.com.
- [40] L. Ruiz, (2014) “Amperimetro con arduino,” 2014. [En línea]. Disponible en: www.circuits.io.
- [41] AECO, “Direct Industry,” [En línea]. Disponible en: www.directindustry.es.
- [42] Bass Instruments, (2012, Noviembre 24) Technical Manual for TUC-2000M,” [En línea]. Disponible en: www.us-kon.com.tr/upload/dosya
- [43] Lund Instrument Engineering, “Tecnología PowerStream,” [En línea]. Disponible en: www.powerstream.com.

[44] TIGRE, (2016, Febrero) “Catalogo Linea PEAD”. [En línea]. Disponible en:
www.tigre.com.bo.

ANEXOS

Anexo A. Apartados eléctricos

Anexo B. Apartados de diseño mecánico

Anexo C. Apartados de resultados del Generador

Anexo A. Apartados eléctricos

Anexo A. 1 Proporciones típicas $\chi = 1/D$ para diferentes máquinas eléctricas

Asynchronous machines	Synchronous machines, $p > 1$	Synchronous machines, $p = 1$	DC machines
$\chi \approx \frac{\pi}{2p} \sqrt[3]{p}$	$\chi \approx \frac{\pi}{4p} \sqrt{p}$	$\chi = 1 - 3$	$\chi \approx \frac{0.8 - 1.6}{p}$

[20]

Anexo A. 2 Valores RMS (Raíz media cuadrática) permitidos para densidades de corriente J y densidades de corriente lineal A

	Asynchronous machines	Salient-pole synchronous machines or PMSM	Non-salient pole synchronous machines			DC machines
			Indirect cooling		Direct cooling	
			Air	Hydrogen		
A [kA/m]	30–65	35–65	30–80	90–110	150–200	25–65
	Stator winding	Armature winding	Armature winding	Armature winding	Armature winding Water cooling 7–10 Hydrogen cooling	Armature winding
J [A/mm ²]	3–8	4–6.5	3–5	4–6	6–13	4–9
	Copper rotor winding	Field winding Multi-layer	Field winding	Field winding		Pole winding
J [A/mm ²]	3–8	2–3.5	3–5	3–5		2–5.5
	Aluminium rotor winding	Field winding Single-layer				Compensating winding
J [A/mm ²]	3–6.5	2–4				3–4

With direct water cooling also in field windings 13–18 A/mm² and 250–300 kA/m can be reached

[20]

Anexo A. 3 Densidad de flujo permitidas de circuitos magnéticos para varias máquinas eléctricas

	Flux density B [T]			
	Asynchronous machines	Salient-pole synchronous machines	Nonsalient-pole synchronous machines	DC machines
Air gap	0.7–0.9 ($\hat{B}_{\delta 1}$)	0.85–1.05 ($\hat{B}_{\delta 1}$)	0.8–1.05 ($\hat{B}_{\delta 1}$)	0.6–1.1 (B_{\max})
Stator yoke	1.4–1.7 (... 2)	1.0–1.5	1.1–1.5	1.1–1.5
Tooth (apparent maximum value)	1.4–2.1 (stator) 1.5–2.2 (rotor)	1.6–2.0	1.5–2.0	1.6–2.0 (compensating winding) 1.8–2.2 (armature winding)
Rotor yoke	1–1.6 (... 1.9)	1.0–1.5	1.3–1.6	1.0–1.5
Pole core	–	1.3–1.8	1.1–1.7	1.2–1.7
Commutating poles	–	–	–	1.3

[20]

Anexo A. 4 Coeficiente γ para la definición del espacio de aire de CC y máquinas sincrónicas

Salient-pole constant air-gap synchronous machines	$\gamma = 7.0 \times 10^{-7}$
Salient-pole synchronous machines, the air gap of which is shaped to produce a sinusoidal flux density distribution	$\gamma = 4.0 \times 10^{-7}$
Nonsalient-pole synchronous machines	$\gamma = 3.0 \times 10^{-7}$
DC machines without compensating winding and commutating poles	$\gamma = 5.0 \times 10^{-7}$
DC machines with commutating poles without compensating winding	$\gamma = 3.6 \times 10^{-7}$
Compensated DC machines (with commutating poles and compensating winding)	$\gamma = 2.2 \times 10^{-7}$

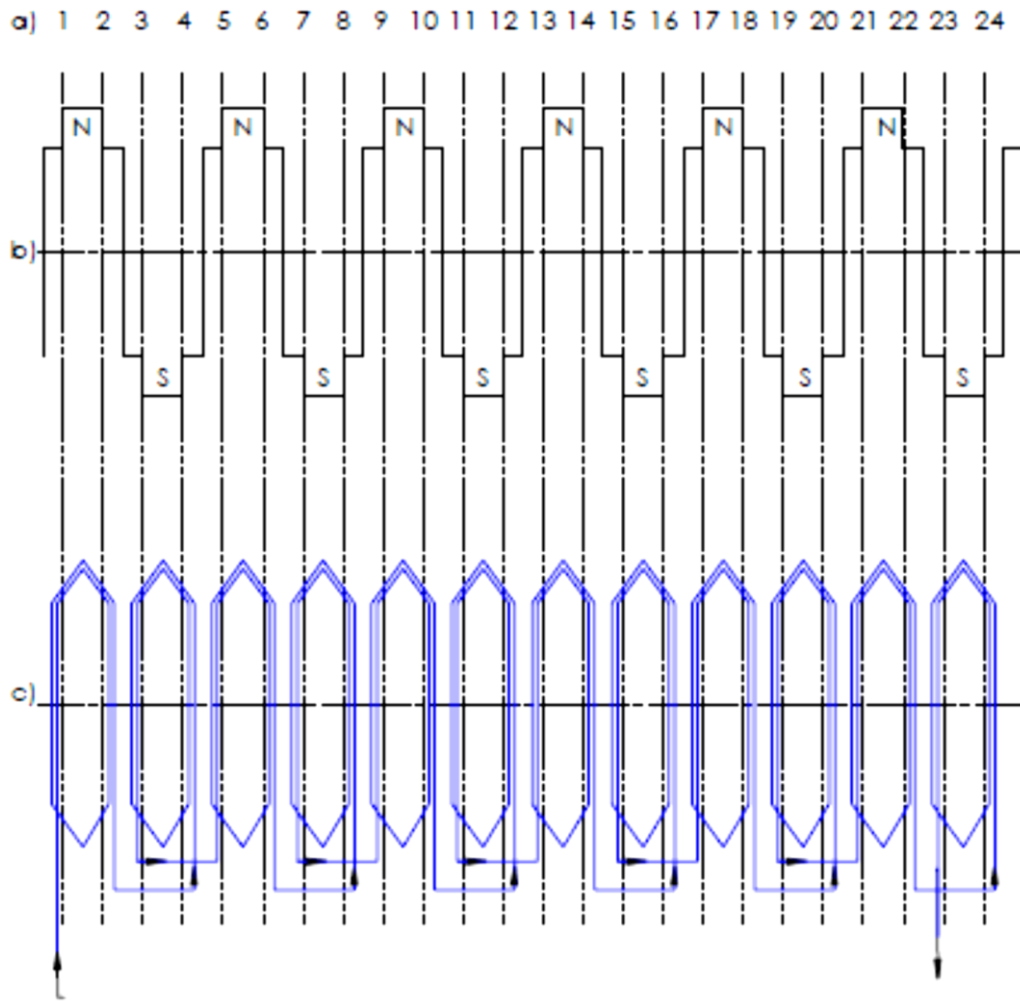
[20]

Anexo A. 5. Tabla de grosores AWG (American Wire Gauge)

Calibre AWG	Diámetro del conductor		Sección mm ²	Ohmios/ 1000 pies	Ohms/km	Amp. Máx. transmisión de potencia
	in	mm				
0	0.46	11.684	107	0.049	0.16072	302
0	0.4096	1.040.384	84.9	0.0618	0.202704	239
0	0.3648	926.592	67.4	0.0779	0.255512	190
0	0.3249	825.246	53.5	0.0983	0.322424	150
1	0.2893	734.822	42.4	0.1239	0.406392	119
2	0.2576	654.304	33.6	0.1563	0.512664	94
3	0.2294	582.676	26.7	0.197	0.64616	75
4	0.2043	518.922	21.1	0.2485	0.81508	60
5	0.1819	462.026	16.8	0.3133	1.027.624	47
6	0.162	41.148	13.3	0.3951	1.295.928	37
7	0.1443	366.522	10.6	0.4982	1.634.096	30
8	0.1285	32.639	8.37	0.6282	2.060.496	24
9	0.1144	290.576	6.63	0.7921	2.598.088	19
10	0.1019	258.826	5.26	0.9989	3.276.392	15
11	0.0907	230.378	4.17	1.26	41.328	12
12	0.0808	205.232	3.31	1.588	520.864	9.3
13	0.072	18.288	2.63	2.003	656.984	7.4
14	0.0641	162.814	2.08	2.525	8.282	5.9
15	0.0571	145.034	1.65	3.184	1.044.352	4.7
16	0.0508	129.032	1.31	4.016	1.317.248	3.7
17	0.0453	115.062	1.04	5.064	1.660.992	2.9
18	0.0403	102.362	0.823	6.385	209.428	2.3
19	0.0359	0.91186	0.653	8.051	2.640.728	1.8
20	0.032	0.8128	0.519	10.15	33.292	1.5
21	0.0285	0.7239	0.412	12.8	41.984	1.2
22	0.0253	0.64516	0.327	16.14	529.392	0.92

[43]

Anexo A. 6 Distribución del bobinado



a) Número de ranuras b) Distribución de los polos Norte – Sur c) Bobinado por polos

Anexo B. Apartados de diseño mecánico

Anexo B. 1 Rugosidad absoluta para diferentes materiales

Material	K_s (mm)
Vidrio	0,0003
PVC, CPVC, HDPE	0,0015
Acero	0,046
Hierro Forjado	0,06
Hierro Dúctil	0,25
Concreto	0,3 - 3,0

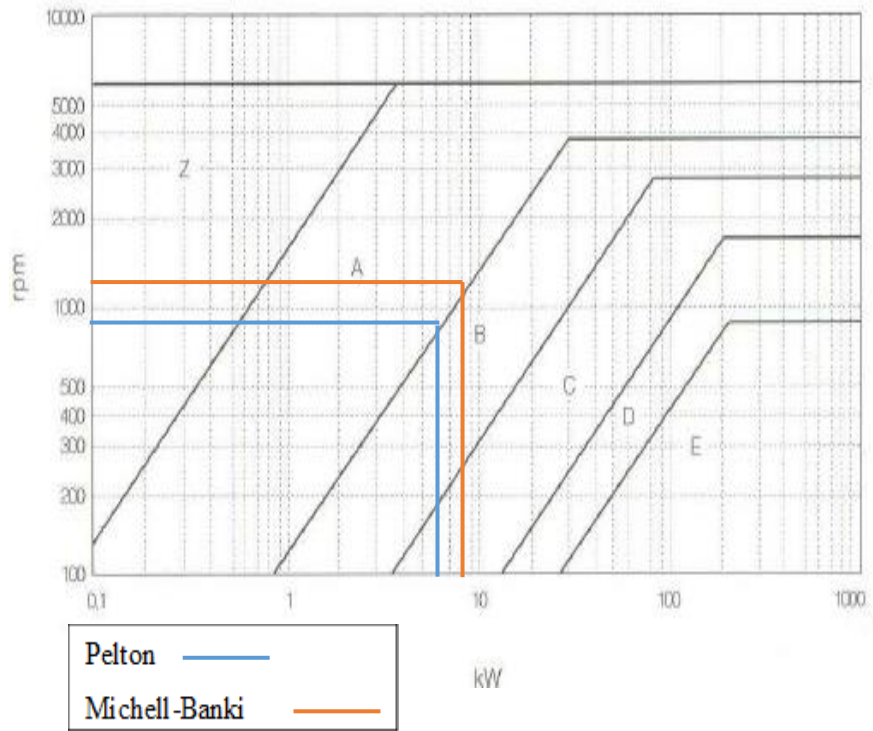
Fuente: [44]

Anexo B. 2 Factores de servicio

TABLA 1
FACTORES DE SERVICIO
VALORES DE CC (COEFICIENTE
DE CORRECCION) SEGUN LAS
CONDICIONES DE TRABAJO Y
EL TIPO DE CARGA.

Aplicaciones	Tipo de motor					
	Horas diarias de funcionamiento					
	0-8	8-16	16-24	0-8	8-16	16-24
Trabajos ligeros Bombas centrífugas y compresores, cintas transportadoras (materiales ligeros), ventiladores y bombas de hasta 7,5 kW.	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
Trabajos normales Cizallas para chapa, prensas, cintas transportadoras y de cadena, tamices (materiales pesados), grupos generadores, máquinas- herramienta, amasadoras, lavadoras industriales, prensas de tipografía, ventiladores y bombas de más de 7,5 kW.	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
Trabajos pesados Molino de martillos, compresores de pistón, cintas transportadoras para cargas muy pesadas, montacargas, máquinas para la industria textil, máquinas continuas para papeleras, bombas de pistón, bombas para dragar, sierras alternativas.	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6

Anexo B. 3 Sección de correas



Anexo B. 4 Lista de medidas

A (mm 13 x 8)		
TIPO	Li (mm)	Lp (mm)
A 60	1525	1558
A 61	1550	1583
A 62	1575	1608
A 63	1600	1633
A 64	1625	1658
A 65	1650	1683
A 66	1676	1709
A 67	1700	1733
A 68	1725	1758
A 69	1750	1783
A 70	1775	1808
A 71	1800	1833
A 72	1825	1858
A 73	1854	1887
A 74	1880	1913
A 75	1900	1933
A 76	1930	1963
A 77	1956	1989
A 78	1980	2013
A 79	2000	2033
A 80	2032	2065
A 81	2060	2093
A 82	2083	2116
A 83	2100	2133
A 83 ½	2120	2153
A 84	2134	2167
A 85	2160	2193
A 86	2187	2220
A 87	2212	2245
A 88	2240	2273
A 89	2267	2300
A 90	2286	2319
A 91	2311	2344
A 92	2337	2370
A 93	2360	2393
A 94	2388	2421
A 95	2413	2446
A 96	2438	2471
A 97	2464	2497
A 97 ½	2475	2508
A 98	2500	2533
A 100	2540	2573
A 102	2591	2624
A 104	2650	2683
A 105	2667	2700
A 107	2725	2758
A 108	2743	2776
A 110	2800	2833
A 112	2845	2878
A 113	2870	2903
A 116	2948	2946
A 118	3000	3033
A 120	3048	3081
A 124	3150	3183
A 128	3250	3283
A 130	3302	3335
A 132	3350	3383
A 134	3404	3437
A 136	3454	3487
A 140	3550	3583
A 144	3658	3691
A 147	3737	3770
A 148	3750	3783
A 155	3937	3970

A (mm 13 x 8)		
TIPO	Li (mm)	Lp (mm)
A 158	4000	4033
A 162	4115	4148
A 167	4250	4283
A 173	4394	4427
A 177	4500	4533
A 180	4572	4605
A 187	4750	4783
A 197	5000	5033
A 210	5334	5367
A 217	5477	5510

Pelton ———

Michell-Banki ———

B (mm 17 x 11)		
TIPO	Li (mm)	Lp (mm)
B 22 ½	570	613
B 23	587	630
B 24	612	655
B 24 ½	622	665
B 25	637	680
B 26	650	693
B 27	686	729
B 28	710	753
B 29	737	780
B 29 ½	750	793
B 30	762	805
B 30 ½	775	818
B 31	787	830
B 32	800	843
B 32 ¼	822	865
B 32 ½	825	868
B 33	838	881
B 34	867	910
B 34 ½	875	918
B 35	889	932
B 35 ½	900	943
B 35 ¾	907	950
B 36	917	960
B 36 ¾	937	980
B 37	942	985
B 38	965	1008
B 38 ½	975	1018
B 39	990	1033
B 39 ½	1000	1043
B 40	1016	1059
B 40 ¾	1030	1073
B 41	1040	1083
B 42	1067	1110
B 42 ½	1075	1118
B 43	1090	1133
B 44	1120	1163
B 44 ¼	1127	1170
B 45	1142	1185
B 46	1175	1218
B 46 ½	1180	1223
B 46 ¾	1187	1230
B 47	1200	1243
B 47 ¼	1202	1245
B 47 ½	1215	1258
B 48	1225	1268
B 49	1250	1293
B 50	1275	1318
B 51	1300	1343
B 52	1320	1363
B 53	1350	1393
B 53 ½	1360	1403
B 54	1372	1415
B 55	1400	1443
B 55 ½	1412	1455
B 56	1422	1465
B 57	1450	1493
B 58	1473	1516
B 59	1500	1543
B 60	1525	1588
B 61	1550	1593
B 62	1575	1618
B 63	1600	1643
B 64	1625	1668
B 64 ½	1642	1685

Anexo B. 5 Prestaciones adicionales (Pb) de las correas A y B

OLEOSTATIC®
CORREAS TRAPEZIALES
CONVENCIONALES

Método para calcular las transmisiones

TABLA 7 - PRESTACIONES BASICAS (Pb) DE LAS CORREAS A

Pb (kW) por d:

diámetro	rpm																		
	71	80	85	90	95	100	106	112	125	132	140	150	160	170	180	190	200	212	
100	0,13	0,16	0,19	0,21	0,23	0,25	0,28	0,30	0,35	0,38	0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62	0,66	0,71	
200	0,22	0,29	0,33	0,37	0,41	0,45	0,50	0,54	0,65	0,70	0,76	0,84	0,92	0,99	1,07	1,14	1,22	1,30	
300	0,29	0,40	0,46	0,52	0,57	0,63	0,70	0,77	0,91	0,99	1,08	1,19	1,30	1,41	1,52	1,63	1,74	1,86	
400	0,36	0,50	0,57	0,65	0,73	0,80	0,89	0,96	1,17	1,27	1,38	1,53	1,67	1,81	1,95	2,09	2,23	2,39	
500	0,42	0,59	0,68	0,78	0,87	0,96	1,07	1,18	1,41	1,53	1,67	1,85	2,02	2,19	2,36	2,53	2,70	2,90	
600	0,48	0,68	0,79	0,90	1,00	1,11	1,24	1,37	1,64	1,78	1,95	2,15	2,36	2,56	2,76	2,96	3,15	3,39	
700	0,53	0,76	0,89	1,01	1,13	1,26	1,40	1,55	1,86	2,03	2,22	2,45	2,68	2,91	3,14	3,37	3,59	3,86	
725	0,54	0,78	0,91	1,04	1,16	1,29	1,44	1,59	1,92	2,09	2,28	2,52	2,76	3,00	3,24	3,47	3,70	3,98	
800	0,58	0,84	0,98	1,12	1,26	1,40	1,56	1,72	2,08	2,26	2,48	2,74	3,00	3,26	3,51	3,77	4,02	4,32	
900	0,63	0,91	1,07	1,22	1,38	1,53	1,71	1,89	2,28	2,49	2,73	3,02	3,30	3,59	3,87	4,15	4,43	4,75	
950	0,65	0,95	1,11	1,27	1,43	1,60	1,79	1,98	2,39	2,60	2,85	3,15	3,45	3,75	4,05	4,34	4,63	4,97	
1000	0,67	0,98	1,15	1,32	1,49	1,66	1,86	2,06	2,49	2,71	2,97	3,29	3,60	3,91	4,22	4,52	4,82	5,18	
1100	0,71	1,05	1,23	1,42	1,60	1,79	2,00	2,22	2,68	2,93	3,21	3,55	3,89	4,22	4,55	4,88	5,20	5,59	
1200	0,74	1,11	1,31	1,51	1,71	1,91	2,14	2,37	2,87	3,14	3,43	3,80	4,17	4,53	4,88	5,23	5,57	5,98	
1300	0,78	1,17	1,39	1,60	1,81	2,02	2,27	2,52	3,05	3,34	3,66	4,05	4,44	4,82	5,19	5,56	5,93	6,36	
1400	0,81	1,23	1,46	1,69	1,91	2,14	2,40	2,67	3,23	3,53	3,87	4,29	4,70	5,10	5,50	5,88	6,27	6,72	
1425	0,82	1,24	1,48	1,71	1,94	2,16	2,44	2,70	3,28	3,58	3,92	4,35	4,76	5,17	5,57	5,96	6,35	6,80	
1500	0,84	1,28	1,53	1,77	2,01	2,25	2,53	2,81	3,41	3,72	4,08	4,52	4,95	5,37	5,79	6,19	6,59	7,06	
1600	0,86	1,33	1,59	1,85	2,10	2,35	2,65	2,95	3,57	3,91	4,28	4,74	5,19	5,63	6,07	6,49	6,90	7,39	
1700	0,89	1,38	1,66	1,93	2,19	2,46	2,77	3,08	3,74	4,08	4,48	4,96	5,43	5,89	6,33	6,77	7,20	7,70	
1800	0,91	1,43	1,72	2,00	2,28	2,55	2,88	3,21	3,89	4,26	4,66	5,16	5,65	6,13	6,59	7,04	7,48	7,99	
1900	0,93	1,48	1,78	2,07	2,36	2,65	2,99	3,33	4,04	4,42	4,84	5,36	5,87	6,36	6,83	7,30	7,75	8,27	
2000	0,95	1,52	1,83	2,14	2,44	2,74	3,10	3,45	4,19	4,58	5,02	5,55	6,07	6,58	7,07	7,54	8,00	8,52	
2100	0,97	1,56	1,88	2,20	2,52	2,83	3,20	3,56	4,33	4,74	5,19	5,74	6,27	6,79	7,28	7,77	8,23	8,76	
2200	0,99	1,60	1,94	2,27	2,59	2,92	3,30	3,67	4,47	4,88	5,35	5,91	6,46	6,98	7,49	7,98	8,44	8,97	
2300	1,00	1,64	1,98	2,33	2,66	3,00	3,39	3,78	4,60	5,02	5,50	6,08	6,63	7,17	7,68	8,17	8,64	9,17	
2400	1,01	1,67	2,03	2,38	2,73	3,08	3,48	3,88	4,72	5,16	5,65	6,23	6,80	7,34	7,86	8,35	8,82	9,34	
2500	1,02	1,70	2,07	2,44	2,80	3,15	3,57	3,98	4,84	5,29	5,78	6,38	6,96	7,50	8,02	8,52	8,98	9,50	
2600	1,03	1,73	2,11	2,49	2,86	3,22	3,65	4,07	4,95	5,41	5,91	6,52	7,10	7,65	8,17	8,66	9,12	9,63	
2700	1,04	1,76	2,15	2,54	2,92	3,29	3,73	4,16	5,06	5,52	6,04	6,65	7,24	7,79	8,31	8,79	9,24	9,73	
2800	1,04	1,78	2,19	2,58	2,97	3,35	3,80	4,24	5,16	5,63	6,15	6,77	7,36	7,91	8,43	8,91	9,34	9,82	
2850	1,04	1,80	2,20	2,60	3,00	3,39	3,84	4,28	5,21	5,68	6,21	6,83	7,42	7,97	8,48	8,95	9,39	9,85	
2900	1,04	1,81	2,22	2,63	3,02	3,42	3,87	4,32	5,25	5,73	6,26	6,88	7,47	8,02	8,53	9,00	9,42	9,87	
3000	1,05	1,83	2,25	2,67	3,07	3,47	3,94	4,40	5,34	5,83	6,36	6,98	7,57	8,12	8,62	9,07	9,48	9,91	
3100	1,05	1,85	2,28	2,70	3,12	3,53	4,00	4,47	5,42	5,91	6,45	7,08	7,66	8,20	8,69	9,13	9,52	9,91	
3200	1,04	1,86	2,30	2,74	3,16	3,58	4,06	4,53	5,50	5,99	6,53	7,16	7,74	8,27	8,74	9,17	9,53		
3300	1,04	1,88	2,33	2,77	3,20	3,62	4,11	4,59	5,57	6,06	6,60	7,23	7,80	8,32	8,78	9,18	9,52		
3400	1,04	1,89	2,35	2,80	3,24	3,66	4,16	4,65	5,63	6,13	6,66	7,29	7,85	8,36	8,80	9,18			
3500	1,03	1,90	2,37	2,82	3,27	3,70	4,21	4,69	5,69	6,18	6,72	7,33	7,89	8,38	8,80	9,15			
3600	1,02	1,91	2,38	2,85	3,30	3,74	4,25	4,74	5,74	6,23	6,76	7,37	7,91	8,38	8,78				
3700	1,01	1,91	2,39	2,87	3,32	3,77	4,28	4,78	5,78	6,27	6,80	7,40	7,92	8,37	8,75				
3800	1,00	1,91	2,40	2,88	3,35	3,79	4,31	4,81	5,81	6,30	6,83	7,41	7,92	8,35					
3900	0,98	1,91	2,41	2,89	3,36	3,82	4,34	4,84	5,84	6,33	6,84	7,41	7,90	8,30					
4000	0,97	1,91	2,42	2,90	3,38	3,84	4,36	4,86	5,86	6,34	6,85	7,40	7,87						
4100	0,95	1,91	2,42	2,91	3,39	3,85	4,38	4,88	5,87	6,35	6,84	7,38	7,82						
4200	0,93	1,90	2,42	2,92	3,40	3,86	4,39	4,89	5,88	6,35	6,83	7,34							
4300	0,91	1,89	2,41	2,92	3,40	3,87	4,40	4,90	5,87	6,34	6,80	7,30							
4400	0,88	1,88	2,41	2,91	3,40	3,87	4,40	4,90	5,86	6,31	6,77	7,23							
4500	0,86	1,86	2,40	2,91	3,40	3,86	4,39	4,89	5,84	6,28	6,72								
4600	0,83	1,85	2,38	2,90	3,39	3,86	4,39	4,88	5,82	6,24	6,66								
4700	0,80	1,83	2,37	2,88	3,38	3,84	4,37	4,86	5,78	6,19	6,59								
4800	0,77	1,81	2,35	2,87	3,36	3,83	4,35	4,84	5,74	6,14									
4900	0,74	1,78	2,33	2,85	3,34	3,81	4,33	4,80	5,68	6,07									
5000	0,70	1,75	2,30	2,82	3,32	3,78	4,30	4,77	5,62	5,99									
5200	0,63	1,69	2,24	2,76	3,25	3,71	4,22	4,67	5,47										
5400	0,54	1,62	2,17	2,69	3,18	3,63	4,12	4,55											
5600	0,45	1,53	2,09	2,60	3,08	3,52	3,99	4,40											
5800	0,35	1,44	1,99	2,50	2,97	3,39	3,84	4,22											
6000	0,24	1,33	1,88	2,38	2,83	3,24	3,66												

Nota: La parte de la tabla que está pintada de gris indica unas velocidades periféricas superiores a 30 m/segundo. Por tanto, en estos casos, hay que emplear poleas equilibradas dinámicamente. En estos casos, la duración de las correas se verá reducida.

TABLA 7 - PRESTACIONES BASICAS (Pb) DE LAS CORREAS B

diámetro	Pb (kW) por d:																
	112	118	132	140	150	160	170	180	190	200	212	224	236	250	265	280	
rpm																	
100	0,34	0,38	0,47	0,52	0,59	0,65	0,72	0,78	0,84	0,91	0,98	1,06	1,13	1,22	1,31	1,40	
200	0,60	0,67	0,84	0,94	1,06	1,18	1,30	1,42	1,54	1,66	1,80	1,94	2,08	2,24	2,41	2,59	
300	0,82	0,92	1,17	1,32	1,49	1,66	1,84	2,01	2,18	2,35	2,55	2,76	2,96	3,19	3,44	3,68	
400	1,02	1,16	1,48	1,66	1,89	2,12	2,34	2,56	2,78	3,00	3,26	3,53	3,78	4,08	4,40	4,72	
500	1,20	1,37	1,77	1,99	2,27	2,54	2,81	3,09	3,35	3,62	3,94	4,26	4,57	4,93	5,32	5,70	
600	1,37	1,57	2,04	2,30	2,62	2,95	3,27	3,59	3,90	4,21	4,59	4,96	5,32	5,75	6,20	6,64	
700	1,53	1,76	2,29	2,59	2,97	3,33	3,70	4,06	4,42	4,78	5,21	5,63	6,04	6,52	7,03	7,54	
725	1,57	1,81	2,35	2,66	3,05	3,43	3,81	4,18	4,55	4,92	5,36	5,79	6,22	6,71	7,24	7,75	
800	1,68	1,94	2,54	2,87	3,29	3,71	4,12	4,52	4,93	5,32	5,80	6,27	6,73	7,27	7,83	8,39	
900	1,82	2,11	2,77	3,14	3,60	4,06	4,51	4,96	5,41	5,85	6,37	6,88	7,39	7,97	8,59	9,20	
950	1,89	2,19	2,88	3,27	3,75	4,23	4,71	5,18	5,64	6,10	6,64	7,18	7,71	8,31	8,96	9,59	
1000	1,95	2,27	2,99	3,40	3,90	4,40	4,90	5,38	5,87	6,34	6,91	7,47	8,02	8,65	9,31	9,96	
1100	2,07	2,42	3,20	3,64	4,19	4,73	5,26	5,79	6,31	6,82	7,43	8,03	8,61	9,29	9,99	10,68	
1200	2,19	2,56	3,40	3,88	4,46	5,04	5,61	6,17	6,73	7,28	7,92	8,56	9,18	9,89	10,63	11,35	
1300	2,30	2,69	3,59	4,10	4,72	5,34	5,95	6,54	7,13	7,71	8,39	9,06	9,71	10,45	11,23	11,98	
1400	2,40	2,82	3,77	4,31	4,97	5,62	6,26	6,89	7,51	8,12	8,83	9,53	10,21	10,98	11,78	12,55	
1425	2,42	2,85	3,82	4,36	5,03	5,69	6,34	6,98	7,60	8,22	8,94	9,64	10,33	11,11	11,91	12,69	
1500	2,49	2,93	3,94	4,51	5,21	5,89	6,56	7,22	7,87	8,51	9,25	9,97	10,67	11,47	12,29	13,07	
1600	2,58	3,04	4,11	4,70	5,43	6,15	6,85	7,54	8,21	8,87	9,64	10,38	11,10	11,92	12,75	13,54	
1700	2,66	3,15	4,26	4,88	5,64	6,39	7,12	7,83	8,53	9,21	10,00	10,76	11,50	12,32	13,16	13,95	
1800	2,73	3,24	4,40	5,05	5,84	6,62	7,37	8,11	8,83	9,52	10,33	11,11	11,85	12,68	13,52	14,29	
1900	2,80	3,33	4,53	5,21	6,03	6,83	7,61	8,36	9,10	9,81	10,63	11,42	12,17	12,99	13,82	14,58	
2000	2,86	3,41	4,66	5,35	6,20	7,02	7,82	8,60	9,35	10,07	10,90	11,69	12,44	13,26	14,07	14,80	
2100	2,91	3,48	4,77	5,49	6,36	7,21	8,02	8,81	9,58	10,31	11,14	11,93	12,68	13,48	14,26	14,96	
2200	2,95	3,54	4,87	5,61	6,51	7,37	8,20	9,01	9,78	10,51	11,35	12,13	12,86	13,64	14,39	15,04	
2300	2,99	3,60	4,97	5,72	6,64	7,52	8,37	9,18	9,95	10,69	11,52	12,30	13,01	13,76	14,46	15,05	
2400	3,02	3,65	5,05	5,82	6,76	7,65	8,51	9,33	10,10	10,84	11,66	12,42	13,10	13,82	14,46		
2500	3,05	3,69	5,12	5,91	6,86	7,77	8,63	9,45	10,23	10,96	11,76	12,50	13,15	13,82	14,40		
2600	3,06	3,72	5,18	5,99	6,95	7,86	8,73	9,55	10,32	11,04	11,83	12,53	13,15	13,76			
2700	3,07	3,74	5,23	6,05	7,02	7,94	8,82	9,63	10,39	11,09	11,86	12,53	13,10				
2800	3,07	3,76	5,27	6,10	7,08	8,01	8,87	9,68	10,43	11,11	11,84	12,47	12,99				
2850	3,07	3,76	5,29	6,12	7,10	8,03	8,90	9,70	10,44	11,11	11,82	12,43					
2900	3,07	3,76	5,30	6,13	7,12	8,05	8,91	9,71	10,44	11,10	11,79	12,37					
3000	3,06	3,76	5,32	6,16	7,15	8,07	8,93	9,71	10,42	11,05	11,70						
3100	3,03	3,75	5,32	6,17	7,16	8,08	8,92	9,68	10,37	10,96	11,56						
3200	3,01	3,73	5,32	6,16	7,15	8,06	8,89	9,63	10,28	10,84							
3300	2,97	3,70	5,30	6,14	7,13	8,02	8,83	9,55	10,16	10,68							
3400	2,92	3,66	5,27	6,11	7,08	7,97	8,75	9,43	10,01								
3500	2,87	3,61	5,22	6,06	7,02	7,89	8,64	9,29	9,82								
3600	2,81	3,55	5,16	6,00	6,94	7,79	8,51	9,12									
3700	2,74	3,49	5,09	5,92	6,85	7,66	8,35	8,92									
3800	2,66	3,41	5,01	5,82	6,73	7,52	8,17										
3900	2,57	3,32	4,91	5,71	6,59	7,34	7,95										
4000	2,47	3,22	4,80	5,58	6,44	7,15											
4100	2,37	3,11	4,67	5,44	6,26	6,93											
4200	2,25	2,99	4,53	5,27	6,06												
4300	2,13	2,86	4,37	5,09	5,85												
4400	1,99	2,72	4,20	4,90	5,61												
4500	1,85	2,57	4,01	4,68													
4600	1,69	2,40	3,81	4,45													
4700	1,53	2,23	3,59	4,19													
4800	1,35	2,04	3,36														
4900	1,17	1,84	3,11														
5000	0,97	1,63	2,84														

Método para calcular las transmisiones

OLEOSTATIC®
CORREAS TRAPEZIALES CONVENCIONALES

Nota: La parte de la tabla que está pintada de gris indica unas velocidades periféricas superiores a 30 m/segundo. Por tanto, en estos casos, hay que emplear poleas equilibradas dinámicamente. En estos casos, la duración de las correas se verá reducida.

Anexo B. 6 Prestaciones adicionales (Pd) de las correas A y B

Método para calcular las transmisiones

OLEOSTATIC®
CORREAS TRAPEZIALES
CONVENCIONALES

TABLA 7 - PRESTACIONES ADICIONALES (Pd) DE LAS CORREAS A

rpm	Pb (kW) por K desde... hasta...									
	1,00 1,01	1,02 1,03	1,04 1,06	1,07 1,08	1,09 1,12	1,13 1,16	1,17 1,22	1,23 1,32	1,33 1,50	1,51 para arriba
100	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
200	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04
300	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05
400	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07
500	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
600	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11
700	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11	0,13
725	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07	0,09	0,10	0,12	0,13
800	0,00	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14
900	0,00	0,02	0,04	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,14	0,16
950	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17
1000	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18
1100	0,00	0,02	0,04	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,18	0,20
1200	0,00	0,02	0,05	0,07	0,10	0,12	0,14	0,17	0,19	0,21
1300	0,00	0,03	0,05	0,08	0,10	0,13	0,16	0,18	0,21	0,23
1400	0,00	0,03	0,06	0,08	0,11	0,14	0,17	0,20	0,22	0,25
1425	0,00	0,03	0,06	0,09	0,11	0,14	0,17	0,20	0,23	0,26
1500	0,00	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27
1600	0,00	0,03	0,06	0,10	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,29
1700	0,00	0,03	0,07	0,10	0,14	0,17	0,20	0,24	0,27	0,30
1800	0,00	0,04	0,07	0,11	0,14	0,18	0,22	0,25	0,29	0,32
1900	0,00	0,04	0,08	0,11	0,15	0,19	0,23	0,27	0,30	0,34
2000	0,00	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36
2100	0,00	0,04	0,08	0,13	0,17	0,21	0,25	0,29	0,33	0,38
2200	0,00	0,04	0,09	0,13	0,17	0,22	0,26	0,31	0,35	0,39
2300	0,00	0,05	0,09	0,14	0,18	0,23	0,28	0,32	0,37	0,41
2400	0,00	0,05	0,10	0,14	0,19	0,24	0,29	0,34	0,38	0,43
2500	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
2600	0,00	0,05	0,10	0,16	0,21	0,26	0,31	0,36	0,41	0,47
2700	0,00	0,05	0,11	0,16	0,21	0,27	0,32	0,38	0,43	0,48
2800	0,00	0,06	0,11	0,17	0,22	0,28	0,34	0,39	0,45	0,50
2850	0,00	0,06	0,11	0,17	0,23	0,28	0,34	0,40	0,45	0,51
2900	0,00	0,06	0,12	0,17	0,23	0,29	0,35	0,41	0,46	0,52
3000	0,00	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36	0,42	0,48	0,54
3100	0,00	0,06	0,12	0,19	0,25	0,31	0,37	0,43	0,49	0,55
3200	0,00	0,06	0,13	0,19	0,25	0,32	0,38	0,45	0,51	0,57
3300	0,00	0,07	0,13	0,20	0,26	0,33	0,40	0,46	0,53	0,59
3400	0,00	0,07	0,14	0,20	0,27	0,34	0,41	0,48	0,54	0,61
3500	0,00	0,07	0,14	0,21	0,28	0,35	0,42	0,49	0,56	0,63
3600	0,00	0,07	0,14	0,22	0,29	0,36	0,43	0,50	0,57	0,64
3700	0,00	0,07	0,15	0,22	0,29	0,37	0,44	0,52	0,59	0,66
3800	0,00	0,08	0,15	0,23	0,30	0,38	0,46	0,53	0,61	0,68
3900	0,00	0,08	0,16	0,23	0,31	0,39	0,47	0,55	0,62	0,70
4000	0,00	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,48	0,56	0,64	0,72
4100	0,00	0,08	0,16	0,25	0,33	0,41	0,49	0,57	0,65	0,73
4200	0,00	0,08	0,17	0,25	0,33	0,42	0,50	0,59	0,67	0,75
4300	0,00	0,09	0,17	0,26	0,34	0,43	0,52	0,60	0,69	0,77
4400	0,00	0,09	0,18	0,26	0,35	0,44	0,53	0,62	0,70	0,79
4500	0,00	0,09	0,18	0,27	0,36	0,45	0,54	0,63	0,72	0,81
4600	0,00	0,09	0,18	0,28	0,37	0,46	0,55	0,64	0,73	0,82
4700	0,00	0,09	0,19	0,28	0,37	0,47	0,56	0,66	0,75	0,84
4800	0,00	0,09	0,19	0,29	0,38	0,48	0,58	0,67	0,76	0,86
4900	0,00	0,10	0,20	0,29	0,39	0,49	0,59	0,69	0,78	0,88
5000	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,89
5200	0,00	0,10	0,21	0,31	0,41	0,52	0,62	0,73	0,83	0,93
5400	0,00	0,11	0,21	0,32	0,43	0,54	0,65	0,76	0,86	0,97
5600	0,00	0,11	0,22	0,34	0,44	0,56	0,67	0,78	0,89	1,00
5800	0,00	0,11	0,23	0,35	0,46	0,58	0,70	0,81	0,92	1,04
6000	0,00	0,12	0,24	0,36	0,48	0,60	0,72	0,84	0,96	1,07

Método para calcular las transmisiones

OLEOSTATIC®
CORREAS TRAPEZIALES CONVENCIONALES

Método para calcular las transmisiones

OLEOSTATIC®
CORREAS TRAPECIALES
CONVENCIONALES

TABLA 7 - PRESTACIONES ADICIONALES (Pd) DE LAS CORREAS B

rpm	Pb (kW) por K desde... hasta...									
	1,00 1,01	1,02 1,03	1,04 1,06	1,07 1,08	1,09 1,12	1,13 1,16	1,17 1,22	1,23 1,32	1,33 1,50	1,51 para arriba
100	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
200	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08
300	0,00	0,01	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09	0,11	0,12
400	0,00	0,02	0,04	0,05	0,07	0,09	0,11	0,12	0,14	0,16
500	0,00	0,02	0,04	0,07	0,09	0,11	0,13	0,16	0,18	0,20
600	0,00	0,03	0,05	0,08	0,11	0,13	0,16	0,19	0,21	0,24
700	0,00	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,19	0,22	0,25	0,28
725	0,00	0,03	0,06	0,10	0,13	0,16	0,19	0,22	0,26	0,29
800	0,00	0,04	0,07	0,11	0,14	0,18	0,21	0,25	0,28	0,32
900	0,00	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36
950	0,00	0,04	0,08	0,13	0,17	0,21	0,25	0,29	0,34	0,38
1000	0,00	0,04	0,09	0,13	0,18	0,22	0,27	0,31	0,35	0,40
1100	0,00	0,05	0,10	0,15	0,19	0,24	0,29	0,34	0,39	0,44
1200	0,00	0,05	0,11	0,16	0,21	0,26	0,32	0,37	0,42	0,48
1300	0,00	0,06	0,11	0,17	0,23	0,29	0,35	0,40	0,46	0,52
1400	0,00	0,06	0,12	0,19	0,25	0,31	0,37	0,43	0,49	0,56
1425	0,00	0,06	0,13	0,19	0,25	0,31	0,38	0,44	0,50	0,56
1500	0,00	0,07	0,13	0,20	0,26	0,33	0,40	0,47	0,53	0,59
1600	0,00	0,07	0,14	0,21	0,28	0,35	0,43	0,50	0,56	0,63
1700	0,00	0,07	0,15	0,23	0,30	0,37	0,45	0,53	0,60	0,67
1800	0,00	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,48	0,56	0,64	0,71
1900	0,00	0,08	0,17	0,25	0,33	0,42	0,51	0,59	0,67	0,75
2000	0,00	0,09	0,18	0,27	0,35	0,44	0,53	0,62	0,71	0,79
2100	0,00	0,09	0,19	0,28	0,37	0,46	0,56	0,65	0,74	0,83
2200	0,00	0,10	0,19	0,29	0,39	0,48	0,58	0,68	0,78	0,87
2300	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,51	0,61	0,71	0,81	0,91
2400	0,00	0,11	0,21	0,32	0,42	0,53	0,64	0,74	0,85	0,95
2500	0,00	0,11	0,22	0,33	0,44	0,55	0,66	0,78	0,88	0,99
2600	0,00	0,11	0,23	0,34	0,46	0,57	0,69	0,81	0,92	1,03
2700	0,00	0,12	0,24	0,36	0,48	0,59	0,72	0,84	0,95	1,07
2800	0,00	0,12	0,25	0,37	0,49	0,62	0,74	0,87	0,99	1,11
2850	0,00	0,12	0,25	0,38	0,50	0,63	0,76	0,88	1,01	1,13
2900	0,00	0,13	0,26	0,38	0,51	0,64	0,77	0,90	1,02	1,15
3000	0,00	0,13	0,26	0,40	0,53	0,66	0,80	0,93	1,06	1,19
3100	0,00	0,14	0,27	0,41	0,55	0,68	0,82	0,96	1,09	1,23
3200	0,00	0,14	0,28	0,42	0,56	0,70	0,85	0,99	1,13	1,27
3300	0,00	0,14	0,29	0,44	0,58	0,73	0,88	1,02	1,16	1,31
3400	0,00	0,15	0,30	0,45	0,60	0,75	0,90	1,05	1,20	1,35
3500	0,00	0,15	0,31	0,46	0,62	0,77	0,93	1,09	1,24	1,39
3600	0,00	0,16	0,32	0,48	0,63	0,79	0,96	1,12	1,27	1,43
3700	0,00	0,16	0,33	0,49	0,65	0,81	0,98	1,15	1,31	1,47
3800	0,00	0,17	0,34	0,50	0,67	0,84	1,01	1,18	1,34	1,51
3900	0,00	0,17	0,34	0,52	0,69	0,86	1,04	1,21	1,38	1,55
4000	0,00	0,18	0,35	0,53	0,70	0,88	1,06	1,24	1,41	1,59
4100	0,00	0,18	0,36	0,54	0,72	0,90	1,09	1,27	1,45	1,63
4200	0,00	0,18	0,37	0,56	0,74	0,92	1,12	1,30	1,48	1,67
4300	0,00	0,19	0,38	0,57	0,76	0,95	1,14	1,33	1,52	1,70
4400	0,00	0,19	0,39	0,58	0,77	0,97	1,17	1,36	1,55	1,74
4500	0,00	0,20	0,40	0,60	0,79	0,99	1,20	1,40	1,59	1,78
4600	0,00	0,20	0,41	0,61	0,81	1,01	1,22	1,43	1,62	1,82
4700	0,00	0,21	0,41	0,62	0,83	1,03	1,25	1,46	1,66	1,86
4800	0,00	0,21	0,42	0,64	0,84	1,06	1,28	1,49	1,69	1,90
4900	0,00	0,21	0,43	0,65	0,86	1,08	1,30	1,52	1,73	1,94
5000	0,00	0,22	0,44	0,66	0,88	1,10	1,33	1,55	1,76	1,98

Método para calcular
las transmisiones

OLEOSTATIC®
CORREAS TRAPECIALES CONVENCIONALES

Anexo B. 7 Factor de corrección C_γ

	γ	180°	175°	170°	165°	160°	155°	150°	145°	140°	135°	130°	125°	120°	115°	110°	105°	100°	90°
C_γ	T/T	1	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93	0,92	0,90	0,89	0,87	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,69
	T/P	0,75	0,76	0,77	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,69

Anexo B. 8 Factor de corrección C_L en función del tipo y de a longitud de la correa

		PULGADAS																												
		9½	16	22	24	28	32	35	42	48	53	66	75	81	90	105	128	144	162	180	210	240	285	330	420	540	720	780		
Z		0,69	0,77	0,82	0,84	0,87	0,89	0,91	0,95	0,98	1,00																			
A		0,73	0,79	0,80	0,83	0,85	0,87	0,91	0,93	0,95	1,00	1,03	1,05	1,07	1,11	1,16	1,19	1,22	1,25	1,29										
B		0,73	0,75	0,77	0,80	0,81	0,85	0,87	0,89	0,93	0,96	0,98	1,00	1,03	1,08	1,11	1,14	1,16	1,20	1,24	1,29	1,33	1,40							
C						0,72	0,73	0,76	0,79	0,80	0,85	0,87	0,88	0,90	0,93	0,97	1,00	1,03	1,05	1,09	1,12	1,16	1,20	1,27						
D													0,81	0,83	0,87	0,89	0,92	0,94	0,97	1,00	1,04	1,07	1,13	1,20	1,27					
E																				0,90	0,94	0,96	1,00	1,03	1,09	1,15	1,23	1,25		

Anexo B. 9 Parámetros de bandas en “V”

Sección de la banda	K_b	K_c
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041
3V	230	0.425
5V	1 098	1.217
8V	4 830	3.288

Anexo B. 10 Parámetros de durabilidad para bandas en “V”

Sección de la banda	10^8 a 10^9 picos de fuerza		10^9 a 10^{10} picos de fuerza		Diámetro mínimo de polea, pulg
	K	b	K	b	
A	674	11.089			3.0
B	1 193	10.926			5.0
C	2 038	11.173			8.5
D	4 208	11.105			13.0
E	6 061	11.100			21.6
3V	728	12.464	1 062	10.153	2.65
5V	1 654	12.593	2 394	10.283	7.1
8V	3 638	12.629	5 253	10.319	12.5

Anexo B. 11 Parámetros de factor de la condición superficial de Marin

Acabado superficial	$k_a = aS_{UT}^b \text{LN}(1, C)$			Coeficiente de variación, C
	kpsi	MPa	b	
Esmerilado*	1.34	1.58	-0.086	0.120
Maquinado o laminado en frío	2.67	4.45	-0.265	0.058
Laminado en caliente	14.5	58.1	-0.719	0.110
Como sale de la forja	39.8	271	-0.995	0.145

Anexo B. 12. Factor de tamaño k_b

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Anexo B. 13 Factor de modificación de la carga k_c

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases}$$

Anexo B. 14 Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

Anexo B. 15 Factor de confiabilidad k_d

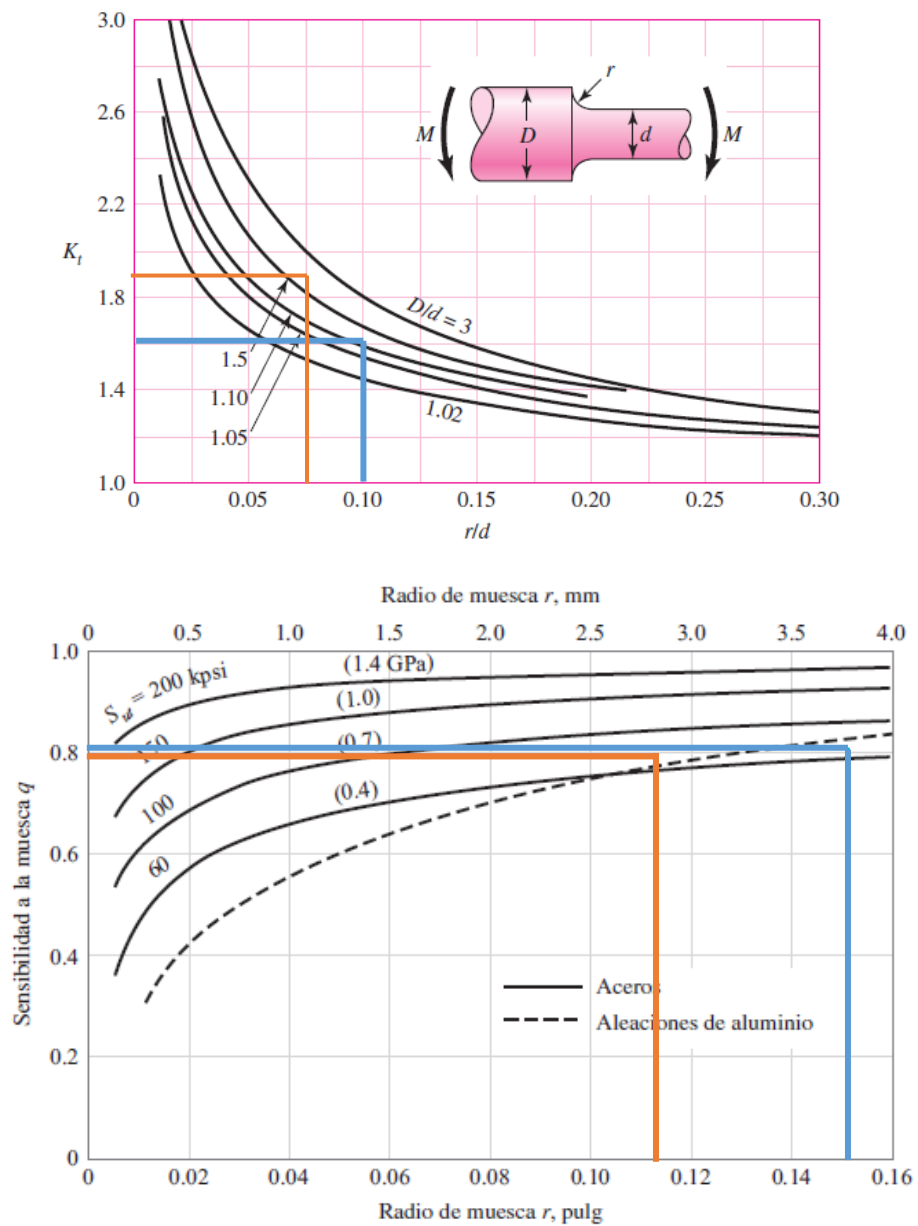
Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_d
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Anexo B. 16 Estimaciones de primera iteración de los factores de concentración del esfuerzo k_t

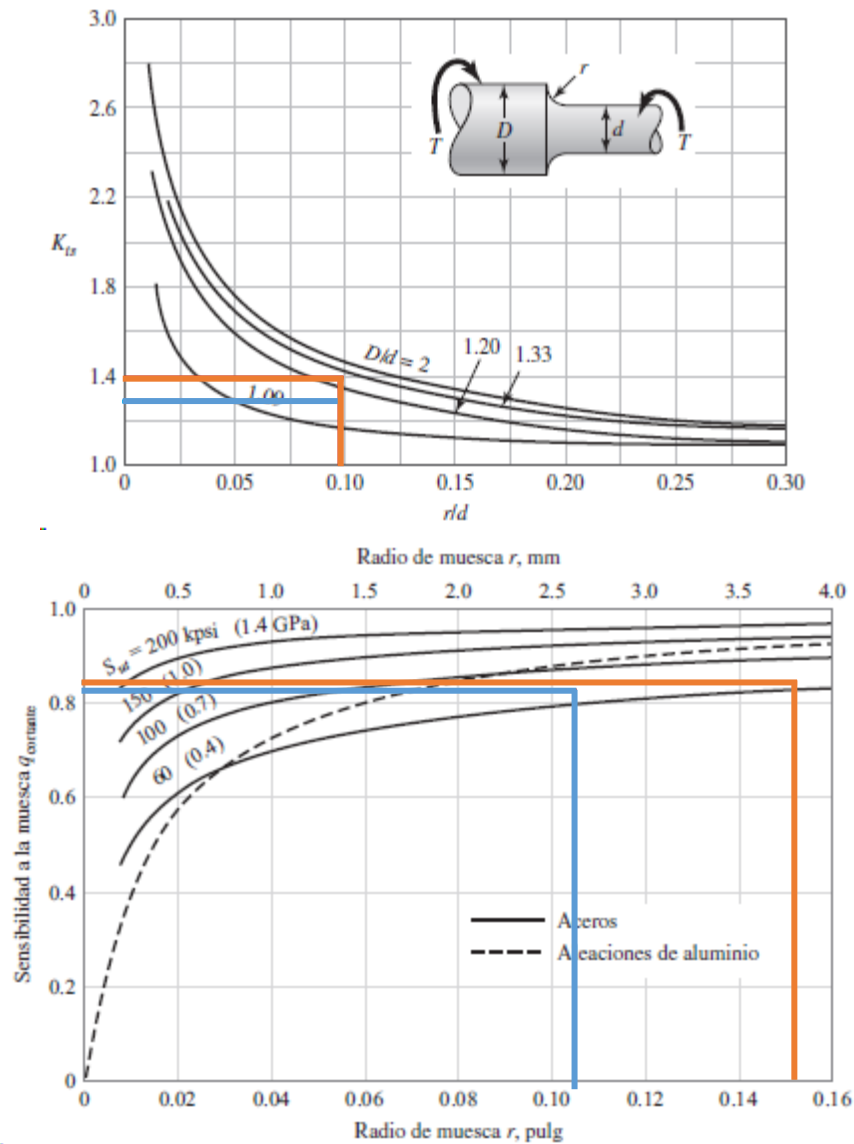
	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ($r/d = 0.02$)	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ($r/d = 0.1$)	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ($r/d = 0.02$)	2.2	3.0	—
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

Los valores faltantes en la tabla no pueden obtenerse con facilidad.

Anexo B. 17 Factores de concentración del esfuerzo por flexión. k_t y sensibilidad de la muesca



Anexo B. 18 Factores de concentración de esfuerzos por torsión



Anexo B. 19 Parámetros de Heywood de \sqrt{a}

Tipo de muesca	$\sqrt{a}(\sqrt{\text{pulg}})_r$ S_{yf} en kpsi	$\sqrt{a}(\sqrt{\text{mm}})_r$ S_{yf} en MPa	Coefficiente de variación C_{Kf}
Agujero transversal	$5/S_{yf}$	$174/S_{yf}$	0.10
Hombro	$4/S_{yf}$	$139/S_{yf}$	0.11
Ranura	$3/S_{yf}$	$104/S_{yf}$	0.15

Anexo B. 20 Valores nominales para medidas mm

Milímetros
0.05, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.16, 0.20, 0.25, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90, 1.0, 1.1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.5, 2.8, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 8.0, 9.0, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 35, 40, 45, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 250, 300

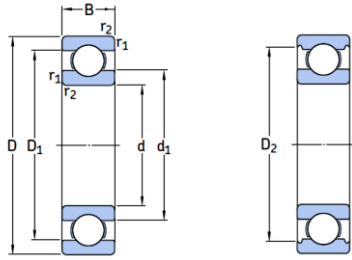
Anexo B. 21 Valores para el factor de ajuste de la vida a_1

Valores para el factor de ajuste de la vida a_1			
Fiabilidad %	Probabilidad de fallo n %	Vida nominal SKF L_{nm}	Factor a_1
90	10	L_{10m}	1
95	5	L_{5m}	0,62
96	4	L_{4m}	0,53
97	3	L_{3m}	0,44
98	2	L_{2m}	0,33
99	1	L_{1m}	0,21

Anexo B. 22 Valores orientativos de vida nominal requeridos para diferentes clases de máquinas

Clase de máquinas	Vida nominal Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas usadas intermitentemente o por cortos períodos: herramientas eléctricas portátiles, aparatos elevadores en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3 000 ... 8 000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento por cortos períodos o intermitentemente: ascensores (elevadores), grúas para mercancías embaladas o eslingas de tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre totalmente utilizadas: transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos de uso industrial, machacadoras rotativas	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas: máquinas herramientas, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria de ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos para imprentas, separadores y centrifugas	20 000 ... 30 000
Máquinas para trabajo continuo, 24 horas al día: cajas de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Máquinas para la industria de energía eólica, esto incluye el eje principal, la orientación, los engranajes, los rodamientos del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para el abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas cableadoras, maquinaria de propulsión para transatlánticos	60 000 ... 100 000
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, bombas y ventiladores para minas, rodamientos para la línea de ejes de transatlánticos	> 100 000

Anexo B. 23 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas d 12-22 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	rpm		kg	-
12	21	5	1,43	0,67	0,028	70 000	43 000	0,0063	61801
	24	6	2,25	0,98	0,043	67 000	40 000	0,011	61901
	28	8	5,4	2,36	0,10	60 000	38 000	0,022	*6001
	30	8	5,07	2,36	0,10	56 000	34 000	0,023	16101
	32	10	7,28	3,1	0,132	50 000	32 000	0,037	*6201
	37	12	10,1	4,15	0,176	45 000	28 000	0,060	*6301
15	24	5	1,56	0,8	0,034	60 000	38 000	0,0074	61802
	28	7	4,36	2,24	0,095	56 000	34 000	0,016	61902
	32	8	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,025	*16002
	32	9	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,030	*6002
	35	11	8,06	3,75	0,16	43 000	28 000	0,045	*6202
	42	13	11,9	5,4	0,228	38 000	24 000	0,082	*6302
17	26	5	1,68	0,93	0,039	56 000	34 000	0,0082	61803
	30	7	4,62	2,55	0,108	50 000	32 000	0,018	61903
	35	8	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,032	*16003
	35	10	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,039	*6003
	40	9	9,56	4,75	0,2	38 000	24 000	0,048	98203
	40	12	9,95	4,75	0,2	38 000	24 000	0,065	*6203
	40	12	11,4	5,4	0,228	38 000	24 000	0,064	6203 ETN9
	47	14	14,3	6,55	0,275	34 000	22 000	0,12	*6303
	62	17	22,9	10,8	0,455	28 000	18 000	0,27	6403

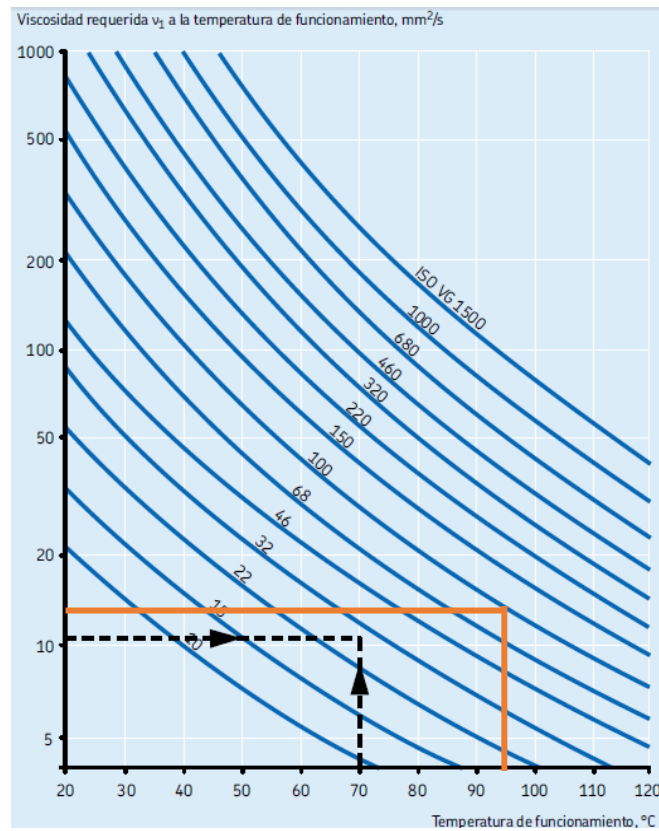
Anexo B. 24 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas d 25-35mm

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga P_u	Velocidades		Masa	Designación	
d	D	B	dinámica C	estática C_0		Velocidad de referencia	Velocidad límite			
mm			kN		kN	rpm		kg	-	
25	37	7	4,36	2,6	0,125	38 000	24 000	0,022	61805	
	42	9	7,02	4,3	0,193	36 000	22 000	0,045	61905	
	47	8	8,06	4,75	0,212	32 000	20 000	0,060	*16005	
	47	12	11,9	6,55	0,275	32 000	20 000	0,080	*6005	
	52	9	10,6	6,55	0,28	28 000	18 000	0,078	98205	
	52	15	14,8	7,8	0,335	28 000	18 000	0,13	*6205	
	52	15	17,8	9,8	0,40	28 000	18 000	0,12	6205 ETN9	
	62	17	23,4	11,6	0,49	24 000	16 000	0,23	*6305	
	62	17	26	13,4	0,57	24 000	16 000	0,21	6305 ETN9	
	80	21	35,8	19,3	0,82	20 000	13 000	0,53	6405	
	28	58	16	16,8	9,5	0,405	26 000	16 000	0,18	62/28
		68	18	25,1	13,7	0,585	22 000	14 000	0,29	63/28
30	42	7	4,49	2,9	0,146	32 000	20 000	0,027	61806	
	47	9	7,28	4,55	0,212	30 000	19 000	0,051	61906	
	55	9	11,9	7,35	0,31	28 000	17 000	0,085	*16006	
	55	13	13,8	8,3	0,355	28 000	17 000	0,12	*6006	
	62	10	15,9	10,2	0,44	22 000	14 000	0,12	98206	
	62	16	20,3	11,2	0,48	24 000	15 000	0,20	*6206	
	62	16	23,4	12,9	0,54	24 000	15 000	0,19	6206 ETN9	
	72	19	29,6	16	0,67	20 000	13 000	0,35	*6306	
	72	19	32,5	17,3	0,74	22 000	14 000	0,33	6306 ETN9	
	90	23	43,6	23,6	1,00	18 000	11 000	0,74	6406	
	35	47	7	4,75	3,2	0,17	28 000	18 000	0,030	61807
		55	10	9,56	6,8	0,29	26 000	16 000	0,080	61907
62		9	13	8,15	0,38	24 000	15 000	0,11	*16007	
62		14	16,8	10,2	0,44	24 000	15 000	0,16	*6007	
72		17	27	15,3	0,66	20 000	13 000	0,29	*6207	
72		17	31,2	17,6	0,75	20 000	13 000	0,27	6207 ETN9	
80		21	35,1	19	0,82	19 000	12 000	0,46	*6307	
100		25	55,3	31	1,29	16 000	10 000	0,95	6407	

Anexo B. 25 Guía para seleccionar la viscosidad del aceite

ESCALA DE TEMP DE TRABAJO (°C)	FV	VISCOSIDAD CINEMÁTICA c_{St} a 37.8°C		TIPOS DE RODAMIENTO A LOS QUE SE PUEDE APLICAR
		Carga Normal	Carga Pesada o de impacto	
de -30 a 0	Hasta valor especificado	18-35	30-60	Todos excepto oscilantes de rodillos
0-60	Hasta 15000	40-70	85-120	Todos excepto oscilantes de rodillos
	15000-80000	30-55	55-80	Todos excepto oscilantes de rodillos
	80000-150000	18-35	30-45	Todos excepto axiales de bolas y rodillos
	150000-500000	9,5-12	18-35	Rígidos de bolas y de rodillos cilíndricos
0-100	Hasta 15000	110-165	180-260	Todos excepto oscilantes de rodillos
	15000-80000	85-120	110-160	Todos excepto oscilantes de rodillos
60-100	80000-150000	50-70	80-160	Todos excepto axiales de bolas y rodillos
	150000-500000	30-40	50-70	Rígidos de bolas y de rodillos cilíndricos
100-150	Hasta valor especificado	240-430		Todos excepto oscilantes de rodillos
0-60	Hasta valor especificado	35-70		Rodamientos oscilantes de rodillos
60-100		105-165		

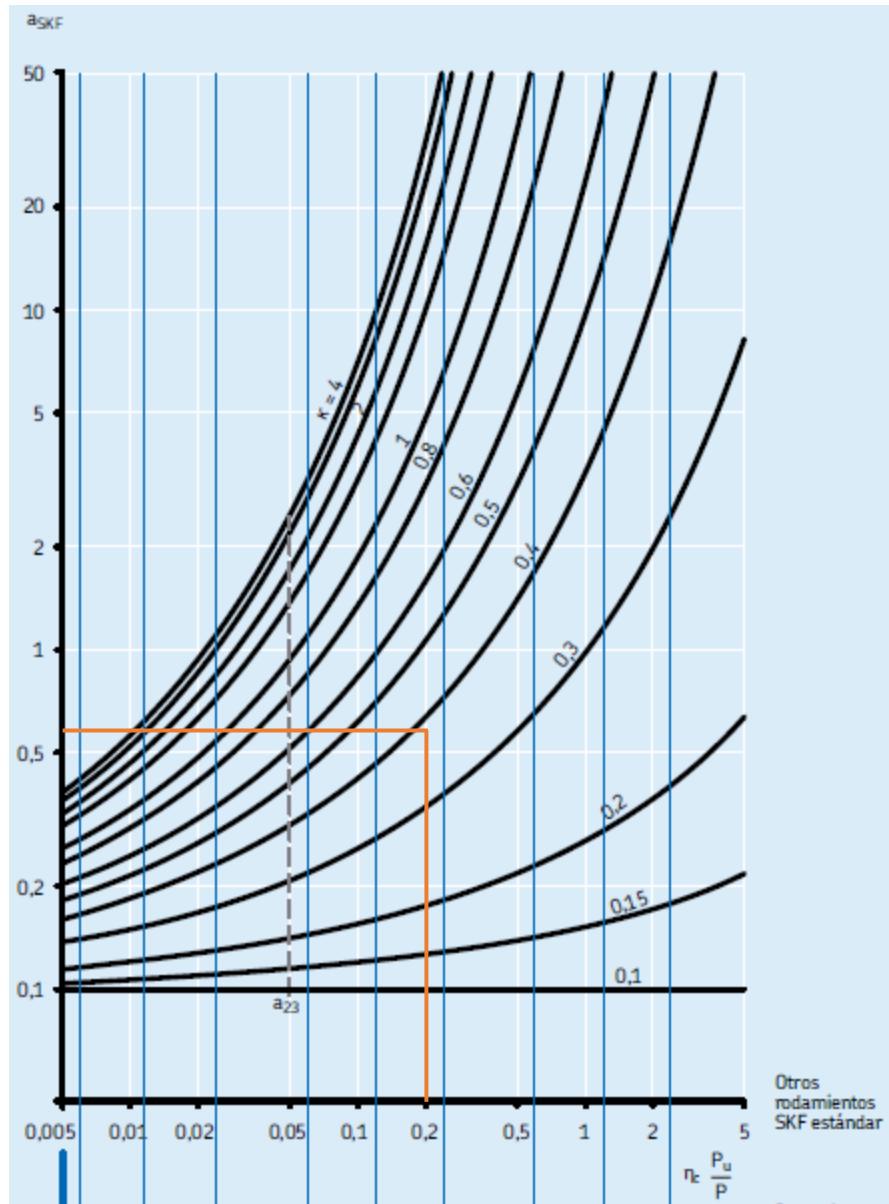
Anexo B. 26 Conversión a la viscosidad cinemática ν a la temperatura de referencia (clasificación ISO VG)



Anexo B. 27 Valores orientativos para el factor n_c para distintos niveles de contaminación

Condición	Factor $n_c^{1)}$	
	para rodamientos con diámetro $d_m < 100$ mm	$d_m \geq 100$ mm
Muy limpio Tamaño de partículas del orden del espesor de la película lubricante Condiciones de laboratorio	1	1
Limpio Aceite filtrado a través de un filtro extremadamente fino Condiciones típicas de los rodamientos engrasados y obturados de por vida	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Normal Aceite filtrado a través de un filtro fino Condiciones típicas de los rodamientos engrasados de por vida y con placas de protección	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
Contaminación ligera Lubricante ligeramente contaminado	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4
Contaminación típica Condiciones típicas de los rodamientos sin obturaciones integradas, filtros de paso grueso, partículas de desgaste y entrada de partículas desde el entorno	0,3 ... 0,1	0,4 ... 0,2
Contaminación severa Entorno del rodamiento muy contaminado y disposición no obturada adecuadamente	0,1 ... 0	0,1 ... 0
Contaminación muy severa Bajo condiciones de contaminación extrema los valores de n_c pueden estar fuera de la escala resultando en un reducción más severa de la vida que la predicha por la ecuación L_{nm}	0	0

Anexo B. 28 Factor a_{23} para rodamientos radiales de bolas.



Anexo C. Apartados de resultados del Generador

Anexo C. 1 Turbina Michell-Banki con rotor A36

Tabla 25. Turbina Michell-Banki con rotor A36 a 30ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
87,28	144	34,35	1,565	53,76
88,2	175	31,15	1,48	46,1
89,2	167	32,9	1,51	49,68
90,33	177	31,38	1,59	49,89
91,67	188	32,86	1,5	49,29
104,59	271	47,69	1,7	81,07
112,5	468	65,48	1,83	119,83
113,79	461	67,82	1,86	126,15
114,47	494	68,09	1,87	127,33
114,82	490	67,41	1,86	125,38
115,13	501	67,75	1,88	127,37
115,28	502	69,56	1,87	130,08
115,44	493	69,64	1,9	132,32
115,75	484	68,81	1,88	129,36
115,89	491	68,36	1,87	127,83
116	499	70,58	1,91	134,81
116,09	505	69,75	1,89	131,83
116,23	501	71,53	1,92	137,34
116,33	501	71,64	1,92	137,55
116,47	514	70,66	1,92	135,67
116,63	517	70,89	1,9	134,69
116,88	509	69,9	1,91	133,51
117,06	504	72,44	1,92	139,08
117,24	518	71,11	1,92	136,53
117,42	519	72,09	1,93	139,13
117,55	505	72,74	1,95	141,84
117,73	514	73,61	1,96	144,28
118,23	525	72,82	1,94	141,27
118,88	530	75,2	1,97	148,14
119,98	519	75,77	1,93	146,24

Fuente: Autor

Tabla 26. Turbina Michell-Banki con rotor A36 a 40ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
85,13	120	30,06	1,536	46,17
87,73	158	29,12	1,44	41,93
88,06	166	30,06	1,49	44,79
88,27	175	30,23	1,47	44,44
88,39	168	30,57	1,45	44,33
88,58	175	31,69	1,47	46,58
88,75	173	29,54	1,43	42,24
90,79	180	30,92	1,49	46,07
92,48	180	34,09	1,59	54,2
92,81	187	35,37	1,54	54,47
93,5	204	37,24	1,54	57,35
93,87	204	35,97	1,55	55,75
94,12	204	37,08	1,63	60,44
94,96	226	41,07	1,62	66,53
96,82	271	45,64	1,62	73,94
100,28	329	45,81	1,68	76,96
105,96	398	45,89	1,75	80,31
113,48	478	64,72	1,85	119,73
115,51	528	69,05	1,86	128,43
115,84	511	72,63	1,92	139,45
116,08	521	71,89	1,89	135,87
116,27	521	71,55	1,89	135,23
116,45	521	69,81	1,87	130,54
117,07	521	71,14	1,93	137,3
117,53	502	71,63	1,91	136,81
117,78	509	70,06	1,87	131,01
117,98	521	73,22	1,95	142,78
118,36	521	72,97	1,9	138,64
118,68	522	72,55	1,92	139,3
119,66	528	72,74	1,92	139,66

Fuente: Autor

Tabla 27. Turbina Michell-Banki con rotor A36 a 60ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
100,18	492	60,06	1,253	75,26
100,53	499	70,47	1,32	93,02
100,78	509	72,47	1,36	98,56
100,95	528	73,63	1,38	101,61
101,11	518	74,05	1,4	103,67
101,23	554	74,63	1,4	104,48
101,46	547	74,79	1,41	105,45
101,66	494	75,29	1,42	106,91
101,81	528	75,79	1,42	107,62
102,09	528	76,29	1,42	108,33
102,33	545	76,79	1,42	109,04
102,57	566	77,12	1,42	109,51
102,76	556	77,37	1,42	109,87
102,94	557	77,54	1,42	110,11
103,01	526	77,95	1,42	110,69
103,19	528	77,95	1,43	111,47
103,4	552	78,29	1,45	113,52
103,55	554	78,53	1,45	113,87
103,68	562	78,78	1,45	114,23
103,82	547	79,2	1,45	114,84
103,93	530	79,2	1,45	114,84
104	554	79,54	1,45	115,33
104,05	540	79,62	1,45	115,45
104,09	559	80,03	1,45	116,04
104,17	540	80,2	1,45	116,29
104,25	564	80,45	1,45	116,65
104,32	556	80,45	1,47	118,26
104,4	545	80,45	1,48	119,07
104,49	559	80,59	1,48	119,27
104,68	554	81,32	1,48	120,35

Fuente: Autor

Tabla 28. Turbina Michell-Banki con rotor A36 a 100ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
105,55	564	83,78	0,888	74,4
106,01	562	85,97	0,9	77,37
106,61	569	85,03	0,89	75,68
107,05	572	85,94	0,89	76,49
107,49	577	88,48	0,89	78,75
108,27	587	89,32	0,92	82,17
108,59	583	91,28	0,92	83,98
109,04	613	90,07	0,92	82,86
109,34	589	88,53	0,91	80,56
109,51	611	90,24	0,93	83,92
109,65	593	89,15	0,92	82,02
109,81	592	88,7	0,92	81,6
110,09	613	90,03	0,92	82,83
110,53	613	89,57	0,92	82,4
111,65	653	95,22	0,96	91,41
112,2	648	96,46	0,95	91,64
112,65	638	96,11	0,95	91,3
113,1	647	96,19	0,95	91,38
113,3	632	95,08	0,95	90,33
113,51	648	96,61	0,97	93,71
113,75	655	96,61	0,96	92,75
113,91	660	97,37	0,96	93,48
114,11	650	98,52	0,96	94,58
114,33	656	98,97	0,96	95,01
114,5	653	97,57	0,96	93,67
114,74	657	100,69	0,97	97,67
115,02	669	99,21	0,97	96,23
115,41	682	99,66	0,97	96,67
115,87	656	99,59	0,96	95,61
116,53	695	101,43	0,98	99,4

Fuente: Autor

Tabla 29. Turbina Michell-Banki con rotor A36 a 300ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
101,77	552	92,53	0,312	28,87
109,73	562	87,39	0,28	24,47
110,65	588	89,69	0,29	26,01
111,15	588	91,11	0,29	26,42
111,63	585	90,25	0,3	27,08
112,2	589	90,31	0,3	27,09
113,09	611	93,02	0,3	27,91
114,15	641	98,53	0,31	30,54
114,61	644	99,69	0,31	30,9
115,08	643	99,43	0,31	30,82
115,5	657	100,85	0,31	31,26
116	659	101,48	0,32	32,47
116,73	668	102,94	0,31	31,91
118,07	690	104,56	0,32	33,46
119,06	705	107,88	0,32	34,52
119,67	712	108,59	0,33	35,83
120,74	735	113,13	0,33	37,33
121,63	764	116,36	0,34	39,56
122,16	777	116,81	0,34	39,72
122,81	765	116,85	0,34	39,73
123,27	779	119,3	0,35	41,76
123,7	780	119,16	0,35	41,71
124,13	794	119,35	0,35	41,77
124,61	798	120,9	0,35	42,32
125,13	814	122,08	0,36	43,95
125,52	816	122,64	0,36	44,15
125,99	818	122,48	0,36	44,09
126,51	830	124,18	0,36	44,7
127,51	833	125,72	0,37	46,52
129,08	863	128,32	0,37	47,48

Fuente: Autor

Anexo C. 2 Turbina Michell-Banki con rotor de acero al Silicio M19

Tabla 30. Turbina Michell-Banki con rotor de acero al Silicio M19 a 20ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
52,97	12	0,03	0,72	0,02
64,10	41	3,69	1,67	6,16
76,04	110	10,26	2,52	25,86
85,04	247	24,70	3,14	77,56
95,32	405	40,02	3,61	144,47
108,65	565	56,24	4,08	229,46
111,68	596	60,29	4,17	251,41
116,15	659	66,77	4,29	286,44
119,57	693	70,43	4,35	306,37
121,46	722	73,22	4,38	320,70
123,06	737	74,86	4,41	330,13
124,18	751	76,31	4,42	337,29
126,11	769	78,19	4,45	347,95
128,54	805	81,68	4,48	365,93
131,21	830	84,78	4,51	382,36
133,02	847	85,56	4,52	386,73
134,44	869	88,18	4,53	399,46
136,01	885	90,03	4,54	408,74
137,36	901	90,95	4,55	413,82
138,56	912	92,41	4,55	420,47
139,89	922	94,00	4,56	428,64
141,31	942	95,41	4,56	435,07
142,52	945	95,98	4,57	438,63
143,47	952	97,15	4,57	443,98
144,21	960	97,59	4,57	445,99
144,86	966	97,88	4,57	447,31
145,47	965	98,01	4,57	447,91
146,21	971	98,90	4,57	451,97
147,34	968	98,95	4,57	452,20
150,10	958	97,91	4,57	447,45

Fuente: Autor

Tabla 31. Turbina Michell-Banki con rotor de acero al Silicio M19 a 30ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
54,12	24	2,00	0,07	0,14
68,92	66	7,73	1,24	9,59
72,02	78	9,57	1,28	12,25
79,92	226	25,51	1,38	35,20
86,54	324	37,29	1,45	54,07
103,37	500	52,25	1,74	90,92
110,64	580	59,16	1,97	116,55
113,32	663	71,84	2,39	171,70
115,04	699	75,76	2,53	191,67
115,84	711	77,88	2,60	202,49
116,44	715	78,15	2,61	203,97
117,41	724	78,39	2,61	204,60
118,76	742	80,00	2,67	213,60
120,93	745	80,38	2,68	215,42
123,24	746	82,20	2,74	225,23
124,92	793	84,72	2,82	238,91
127,24	819	85,80	2,86	245,39
130,37	830	85,98	2,86	245,90
133,04	852	87,50	2,92	255,50
134,86	875	88,49	2,95	261,05
136,58	896	90,55	3,02	273,46
138,14	908	92,23	3,07	283,15
139,70	927	94,67	3,16	299,16
141,46	945	95,81	3,19	305,63
142,88	949	96,24	3,21	308,93
144,00	957	97,56	3,25	317,07
144,82	964	97,93	3,26	319,25
145,57	967	98,22	3,27	321,18
146,40	966	98,32	3,28	322,49
148,72	964	98,57	3,29	324,30

Fuente: Autor

Tabla 32. Turbina Michell-Banki con rotor de acero al Silicio M19 a 40ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
56,81	24	0,94	0,42	0,39
61,64	42	5,69	0,70	3,98
66,09	87	10,55	0,73	7,70
72,89	152	19,99	0,84	16,79
74,40	184	23,60	0,87	20,53
79,05	241	29,71	0,92	27,33
85,64	322	45,92	1,09	50,05
86,37	364	46,61	1,10	51,27
87,07	391	49,46	1,13	55,89
89,01	424	51,87	1,15	59,65
90,43	437	54,06	1,18	63,79
93,03	485	60,25	1,25	75,31
96,03	516	62,13	1,27	78,91
101,65	577	70,44	1,36	95,80
105,45	635	75,40	1,42	107,07
108,57	670	81,82	1,48	121,09
109,69	694	84,03	1,51	126,89
110,25	694	83,98	1,50	125,97
110,71	712	85,75	1,52	130,34
111,45	715	86,46	1,53	132,28
112,16	725	87,76	1,53	134,27
113,94	765	92,21	1,58	145,69
116,17	787	94,39	1,60	151,02
117,39	783	94,74	1,61	152,53
118,20	795	95,85	1,62	155,28
119,17	805	96,26	1,62	155,94
120,98	832	99,27	1,65	163,80
123,34	846	102,38	1,67	170,97
129,40	927	111,96	1,75	195,93
135,96	970	119,08	1,81	215,53

Fuente: Autor

Tabla 33. Turbina Michell-Banki con rotor de acero al Silicio M19 a 60ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
59,80	12	3,66	0,20	0,73
67,50	63	7,30	1,35	9,86
70,83	112	12,29	1,47	18,07
72,31	126	14,57	1,49	21,71
75,09	141	16,13	1,48	23,87
77,56	159	20,04	1,56	31,26
83,67	214	28,71	1,68	48,23
85,83	260	32,87	1,78	58,51
86,24	276	33,41	1,79	59,80
86,71	300	33,97	1,80	61,15
88,94	356	41,81	1,94	81,11
96,20	471	57,07	2,21	126,12
99,59	524	59,12	2,25	133,02
103,11	569	65,50	2,37	155,24
108,13	616	71,68	2,49	178,48
109,71	640	73,96	2,51	185,64
110,57	651	75,48	2,54	191,72
111,38	653	75,85	2,56	194,18
112,12	666	77,25	2,58	199,31
112,80	679	77,84	2,60	202,38
113,68	693	79,70	2,63	209,61
116,37	725	84,21	2,70	227,37
118,97	755	87,54	2,75	240,74
120,12	762	88,38	2,76	243,93
121,73	789	92,22	2,77	255,45
124,32	811	94,47	2,85	269,24
126,92	852	98,50	2,90	285,65
130,26	887	103,91	2,92	303,42
134,41	938	110,50	2,96	327,08
138,26	968	112,48	3,08	346,44

Fuente: Autor

Tabla 34. Turbina Michell-Banki con rotor de acero al Silicio M19 a 80ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
58,12	12	0,49	0,37	0,18
62,45	38	5,05	0,80	4,04
65,85	68	8,92	1,13	10,08
66,42	69	9,52	1,20	11,42
66,91	75	10,66	1,20	12,79
67,33	72	11,54	1,21	13,96
67,92	74	11,94	1,21	14,45
68,44	82	13,27	1,18	15,66
69,12	84	11,46	1,16	13,29
69,71	81	11,43	1,17	13,37
70,65	96	13,23	1,19	15,74
72,41	120	16,07	1,19	19,12
73,26	129	19,82	1,18	23,39
73,78	144	20,41	1,21	24,70
74,20	140	19,61	1,20	23,53
74,88	144	18,36	1,19	21,85
75,19	140	19,18	1,20	23,02
75,65	157	20,02	1,22	24,42
76,38	163	19,60	1,22	23,91
77,46	163	20,27	1,22	24,73
78,59	173	21,55	1,21	26,08
79,30	172	22,19	1,22	27,07
79,80	194	27,21	1,29	35,10
80,47	200	29,34	1,27	37,26
81,18	189	27,25	1,25	34,06
82,06	192	26,27	1,25	32,84
83,79	230	29,32	1,31	38,41
85,36	246	30,05	1,31	39,37
92,31	337	42,84	1,50	64,26
124,15	827	107,30	2,45	262,89

Fuente: Autor

Tabla 35. Turbina Michell-Banki con rotor de acero al Silicio M19 a 100ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
56,94	24	7,26	0,64	4,63
64,07	60	13,94	0,53	7,39
67,07	136	21,75	0,49	10,66
69,81	153	22,10	0,49	10,83
71,37	184	25,25	0,51	12,88
72,33	197	28,37	0,53	15,04
74,91	223	30,24	0,53	16,03
76,88	237	31,33	0,54	16,92
77,96	253	35,60	0,56	19,94
79,82	279	39,10	0,59	23,07
81,13	291	43,19	0,62	26,78
83,33	330	45,92	0,63	28,93
84,33	351	44,95	0,63	28,32
84,95	355	45,98	0,63	28,97
85,74	363	45,41	0,64	29,06
86,86	392	49,98	0,67	33,49
87,96	400	50,41	0,67	33,77
89,02	442	54,63	0,69	37,69
89,66	443	55,26	0,70	38,68
90,05	442	55,11	0,70	38,58
90,48	445	55,14	0,70	38,60
91,36	456	57,03	0,71	40,49
92,73	484	60,37	0,74	44,67
93,37	487	60,44	0,74	44,73
94,08	502	62,40	0,75	46,80
94,62	507	63,27	0,75	47,45
95,35	521	64,94	0,76	49,35
96,93	561	70,73	0,80	56,58
99,19	635	77,93	0,85	66,24
99,96	661	79,19	0,86	68,10

Fuente: Autor

Anexo C. 3 Turbina Pelton con rotor A36

Tabla 36. Turbina Pelton con rotor A36 a 30ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
43,18	48	13,05	0,127	1,66
44,23	127	20,15	0,15	3,02
44,79	150	26,35	0,16	4,22
45,03	150	25,96	0,17	4,41
45,18	150	26,62	0,17	4,53
45,36	151	25,74	0,17	4,38
45,67	150	25,32	0,17	4,3
45,96	149	24,71	0,17	4,2
46,22	152	26,36	0,17	4,48
46,52	152	26,17	0,17	4,45
47,12	149	24,82	0,17	4,22
53,15	151	26,54	0,17	4,51
60,1	155	28,31	0,18	5,1
67,04	159	30,27	0,18	5,45
73,99	162	32,23	0,18	5,8
80,93	166	34,19	0,19	6,5
87,74	169	36,12	0,19	6,86
94,82	173	38,11	0,19	7,24
101,76	177	40,07	0,2	8,01
108,7	180	42,03	0,2	8,41
115,65	184	43,99	0,2	8,8
122,59	188	45,95	0,21	9,65
129,54	191	47,91	0,21	10,06
136,48	195	49,87	0,21	10,47
143,42	198	51,83	0,21	10,88
150,37	202	53,79	0,22	11,83
157,31	206	55,75	0,22	12,27
164,25	209	57,71	0,22	12,7
171,2	213	59,67	0,23	13,72
177,24	216	61,37	0,23	14,12

Fuente: Autor

Tabla 37. Turbina Pelton con rotor A36 a 40ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
44,21	108	15,25	0,127	1,94
44,26	117	20,1	0,15	3,02
45,16	119	19,47	0,54	10,51
48,02	145	23,28	1,08	25,14
49,79	153	24,84	1,1	27,32
52,28	196	28,01	1,12	31,37
53,6	220	29,53	1,17	34,55
56,61	262	36,76	1,19	43,74
58,24	428	59,13	1,5	88,7
58,87	278	38,18	1,2	45,82
59,51	286	38,83	1,21	46,98
60,96	304	38,54	1,22	47,02
64,25	300	39,28	1,22	47,92
65,41	326	45,13	1,3	58,67
67,29	366	51,06	1,41	71,99
68,85	387	53,21	1,42	75,56
70,97	408	55,52	1,45	80,5
71,71	410	56,19	1,45	81,48
72,77	430	58,95	1,49	87,84
74,41	445	64,04	1,57	100,54
75,7	477	65,89	1,59	104,77
76,57	478	65,7	1,59	104,46
77,55	477	65,81	1,59	104,64
78,59	486	66,98	1,62	108,51
80,15	512	71,03	1,67	118,62
81,27	508	70,86	1,67	118,34
83,26	512	71,89	1,68	120,78
86,13	547	76,43	1,74	132,99
89,07	558	78,59	1,77	139,1
92,44	582	82,09	1,81	148,58

Fuente: Autor

Tabla 38. Turbina Pelton con rotor A36 a 60ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
24,29	96	7,26	0,556	4,04
25,04	73	6,45	0,52	3,35
29,04	161	17,2	0,77	13,24
30,25	195	21,57	0,77	16,61
33,14	265	30,25	0,89	26,92
35,12	316	36,54	0,98	35,81
36,78	372	43,26	1,05	45,42
37,71	397	46,1	1,1	50,71
39,45	433	50,31	1,14	57,35
41,63	493	57,61	1,24	71,44
43,15	532	62,73	1,28	80,29
45,29	565	67,43	1,33	89,68
47,53	605	71,49	1,38	98,66
50,24	644	76,3	1,42	108,35
51,37	652	77,37	1,44	111,41
52,03	660	77,98	1,45	113,07
53,52	690	81,28	1,48	120,29
56,13	723	85,93	1,52	130,61
58,95	756	89,92	1,56	140,28
61,44	794	94,28	1,6	150,85
62,58	830	98,59	1,64	161,69
62,93	842	99,86	1,65	164,77
63,25	846	100,41	1,66	166,68
63,76	859	102,04	1,67	170,41
64,57	873	103,86	1,68	174,48
65	876	104,31	1,69	176,28
66,03	886	105,47	1,7	179,3
69,03	923	110	1,74	191,4
70,45	940	111,96	1,75	195,93
71,49	953	113,4	1,77	200,72

Fuente: Autor

Tabla 39. Turbina Pelton con rotor A36 a 80ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
23,91	12	0,94	0,153	0,14
24,3	35	2,13	0,17	0,36
26,15	66	6,11	0,25	1,53
28,57	118	12,67	0,39	4,94
29,29	142	15,68	0,4	6,27
29,86	159	17,9	0,42	7,52
30,41	178	20,33	0,45	9,15
30,94	192	21,91	0,46	10,08
31,25	199	22,96	0,46	10,56
31,6	212	24,48	0,48	11,75
32,76	243	28,24	0,51	14,4
34,4	282	33,55	0,55	18,45
35,68	323	38,65	0,59	22,8
38,24	370	46,41	0,64	29,7
39,77	414	50,79	0,68	34,54
40,6	459	55,17	0,7	38,62
43,5	532	64,6	0,77	49,74
45,94	580	70,52	0,81	57,12
48,92	627	76,33	0,84	64,12
52,55	672	82,07	0,88	72,22
54,32	697	84,7	0,9	76,23
56,14	716	87,33	0,91	79,47
59,68	769	93,52	0,94	87,91
60,49	800	97,36	0,97	94,44
61,43	812	98,93	0,97	95,96
63,03	837	101,92	0,99	100,9
64,61	864	105,11	1,01	106,16
66,06	884	107,67	1,02	109,82
67,73	913	111,43	1,04	115,89
69,22	932	113,71	1,05	119,4

Fuente: Autor

Tabla 40. Turbina Pelton con rotor A36 a 100ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
37,31	156	26,61	0,153	4,07
44,92	173	29,1	0,17	4,95
46,41	182	30,52	0,17	5,19
49,47	221	35,31	0,18	6,36
52,5	210	35,08	0,18	6,31
54,82	231	37,24	0,18	6,7
56,29	263	39,36	0,19	7,48
56,69	255	39,31	0,19	7,47
57,47	235	36,96	0,19	7,02
60,04	310	45,65	0,2	9,13
60,81	332	49,91	0,21	10,48
61,2	322	46,96	0,21	9,86
62,15	328	46,83	0,21	9,83
64,54	387	56,67	0,23	13,03
65,36	393	58,3	0,24	13,99
66,88	398	58,86	0,24	14,13
68,13	417	61,72	0,25	15,43
69,9	445	65,67	0,25	16,42
72,31	459	67,13	0,26	17,45
75,97	474	70,34	0,26	18,29
79,3	507	75,09	0,28	21,03
80,32	525	77,55	0,28	21,71
80,69	520	77,16	0,28	21,6
81,26	520	76,48	0,28	21,41
83,67	540	79,94	0,28	22,38
86,73	573	84,78	0,29	24,59
89,51	605	88,98	0,3	26,69
91,77	636	93,32	0,31	28,93
93,93	659	96,85	0,31	30,02
97,4	656	97,34	0,32	31,15

Fuente: Autor

Tabla 41. Turbina Pelton con rotor A36 a 300ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
101,77	552	92,53	0,312	28,87
109,73	562	87,39	0,28	24,47
110,65	588	89,69	0,29	26,01
111,15	588	91,11	0,29	26,42
111,63	585	90,25	0,3	27,08
112,2	589	90,31	0,3	27,09
113,09	611	93,02	0,3	27,91
114,15	641	98,53	0,31	30,54
114,61	644	99,69	0,31	30,9
115,08	643	99,43	0,31	30,82
115,5	657	100,85	0,31	31,26
116	659	101,48	0,32	32,47
116,73	668	102,94	0,31	31,91
118,07	690	104,56	0,32	33,46
119,06	705	107,88	0,32	34,52
119,67	712	108,59	0,33	35,83
120,76	735	113,22	0,33	37,36
121,63	764	116,36	0,34	39,56
122,16	777	116,81	0,34	39,72
122,81	765	116,85	0,34	39,73
123,27	779	119,3	0,35	41,76
123,7	780	119,16	0,35	41,71
124,13	794	119,35	0,35	41,77
124,61	798	120,9	0,35	42,32
125,13	814	122,08	0,36	43,95
125,52	816	122,64	0,36	44,15
125,99	818	122,48	0,36	44,09
126,51	830	124,18	0,36	44,7
127,51	833	125,72	0,37	46,52
129,08	863	128,32	0,37	47,48

Fuente: Autor

Anexo C. 4 Turbina Pelton con rotor de acero al Silicio M19

Tabla 42. Turbina Pelton con rotor de acero al Silicio M19 a 20ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
23,77	12	0,94	1,056	0,99
25,1	48	1,57	1,15	1,81
26,31	55	1,65	1,16	1,91
26,49	59	1,98	1,25	2,48
26,69	67	2,67	1,4	3,74
27,6	88	4,51	1,78	8,03
30,61	136	9,39	2,16	20,28
32,13	211	11,32	2,43	27,51
32,81	267	15,65	2,57	40,22
45,74	361	35,21	3,59	126,4
50,29	443	48,9	4,12	201,47
51,28	508	52,75	4,21	222,08
53,61	589	57,66	4,34	250,24
55,23	634	61,7	4,45	274,57
56,18	651	62,78	4,45	279,37
56,7	662	64,2	4,47	286,97
58,07	675	65,05	4,48	291,42
60,29	714	68,78	4,5	309,51
61,12	733	70,3	4,51	317,05
61,8	756	72,21	4,53	327,11
61,99	765	72,8	4,54	330,51
62,18	774	73,41	4,55	334,02
63,04	785	74,36	4,56	339,08
64,08	797	75,75	4,56	345,42
65,39	820	77,92	4,57	356,09
67,04	838	79,88	4,57	365,05
69,73	850	81,59	4,57	372,87
70,86	860	87,43	4,57	399,56
71,04	881	87,49	4,57	399,83
71,2	920	87,69	4,57	400,74

Fuente: Autor

Tabla 43. Turbina Pelton con rotor de acero al Silicio M19 a 30ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
25,58	36	0,03	0,832	0,02
25,96	41	0,45	0,91	0,41
27,14	54	1,59	1,14	1,81
28,53	72	3,29	1,27	4,18
28,14	68	2,86	1,26	3,6
29,71	87	4,85	1,5	7,28
31,11	116	8,41	1,74	14,63
31,61	126	9,24	1,84	17
33,31	154	12,19	2,12	25,84
34,81	192	16,29	2,39	38,93
38,7	288	27,25	2,85	77,66
48,71	506	50,25	3,76	188,94
53,38	599	60,44	4,05	244,78
56,03	648	65,73	4,16	273,44
58,79	665	67,63	4,19	283,37
61,16	698	71,28	4,26	303,65
63,78	756	77,04	4,34	334,35
65,17	787	80,02	4,38	350,49
66,26	805	81,38	4,4	358,07
67,07	828	84,18	4,43	372,92
67,9	838	85,01	4,44	377,44
68,82	871	88,61	4,48	396,97
69,2	884	89,87	4,49	403,52
69,42	886	90,09	4,49	404,5
69,59	884	90	4,49	404,1
69,75	885	89,97	4,49	403,97
69,89	884	89,93	4,49	403,79
70,03	886	90,09	4,49	404,5
70,29	884	89,77	4,49	403,07
70,87	880	89,59	4,49	402,26

Fuente: Autor

Tabla 44. Turbina Pelton con rotor de acero al Silicio M19 a 40ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
22,81	36	0,03	0,474	0,01
24,39	37	1,02	0,51	0,52
25,45	51	2,64	0,58	1,53
26,91	69	4,56	0,7	3,19
29,51	104	8,95	0,95	8,5
31,77	158	14,89	1,28	19,06
33,63	212	21,53	1,44	31
35,51	279	29,52	1,64	48,41
36,33	304	32,05	1,86	59,61
37,18	302	30,63	2,31	70,76
38,68	335	34,32	2,42	83,05
41,18	401	41,65	2,61	108,71
43,35	445	45,94	2,73	125,42
45,3	493	51,4	2,88	148,03
46,97	525	55,46	2,99	165,83
50,77	575	61,93	3,16	195,7
53,62	630	67,83	3,31	224,52
55,01	660	71,38	3,38	241,26
56,05	691	74,74	3,44	257,11
56,91	703	76,18	3,47	264,34
57,79	712	76,95	3,49	268,56
61,76	766	82,89	3,59	297,58
63,61	784	84,58	3,62	306,18
64,86	806	86,87	3,66	317,94
65,63	827	89,16	3,7	329,89
66,48	832	89,78	3,71	333,08
68,11	863	93,43	3,77	352,23
70,57	901	97,87	3,84	375,82
71,83	911	98,75	3,86	381,18
73,49	920	99,81	3,88	387,26

Fuente: Autor

Tabla 45. Turbina Pelton con rotor de acero al Silicio M19 a 60ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
23,1	45	3,21	0,583	1,87
23,47	55	3,2	0,58	1,86
24,09	55	1,77	0,49	0,87
25,83	60	3,66	0,63	2,31
28,3	109	9,57	1,02	9,76
30,48	152	14,65	1,27	18,61
32,06	209	21,27	1,43	30,42
33,81	249	26,17	1,54	40,3
36	300	32,36	1,7	55,01
38,66	377	41,31	1,89	78,08
40,68	410	44,75	1,96	87,71
42,98	452	50,16	2,07	103,83
44,87	508	56,35	2,2	123,97
47,16	553	62,12	2,32	144,12
49,09	585	65,87	2,39	157,43
50,69	620	70,4	2,47	173,89
51,5	636	71,9	2,5	179,75
52,98	656	74,33	2,54	188,8
55,65	678	77,1	2,59	199,69
59,46	748	84,52	2,71	229,05
60,19	752	85,1	2,72	231,47
60,91	756	85,56	2,73	233,58
61,9	761	85,73	2,73	234,04
63,19	785	88,79	2,78	246,84
64,27	795	89,62	2,79	250,04
66,34	818	92,37	2,83	261,41
68,32	868	98,44	2,92	287,44
70,55	899	102,06	2,98	304,14
72,65	924	104,81	3,02	316,53
75,53	935	105,98	3,03	321,12

Fuente: Autor

Tabla 46. Turbina Pelton con rotor de acero al Silicio M19 a 80ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
24,29	12	7,26	0,556	4,04
25,02	72	6,37	0,51	3,25
28,94	159	16,95	0,76	12,88
30,2	192	21,26	0,77	16,37
32,95	261	29,66	0,88	26,1
35,01	313	36,21	0,97	35,12
36,58	365	42,4	1,04	44,1
37,52	394	45,69	1,08	49,35
39,18	427	49,59	1,14	56,53
41,15	477	55,7	1,22	67,95
42,81	527	61,89	1,28	79,22
44,63	559	66,73	1,33	88,75
47,06	592	69,91	1,36	95,08
49,48	636	75,35	1,42	107
51,12	652	77,3	1,44	111,31
51,83	655	77,76	1,45	112,75
52,64	675	79,17	1,46	115,59
55,26	712	84,47	1,51	127,55
57,72	745	88,46	1,55	137,11
60,41	775	92,1	1,58	145,52
62,34	816	97,03	1,63	158,16
62,76	839	99,5	1,65	164,18
63,09	844	100,16	1,65	165,26
63,46	851	101,09	1,66	167,81
64,79	875	104,11	1,69	175,95
65,23	880	104,59	1,69	176,76
67,28	899	107,16	1,71	183,24
69,49	928	110,47	1,74	192,22
70,96	949	113,03	1,76	198,93
71,64	953	113,39	1,77	200,7

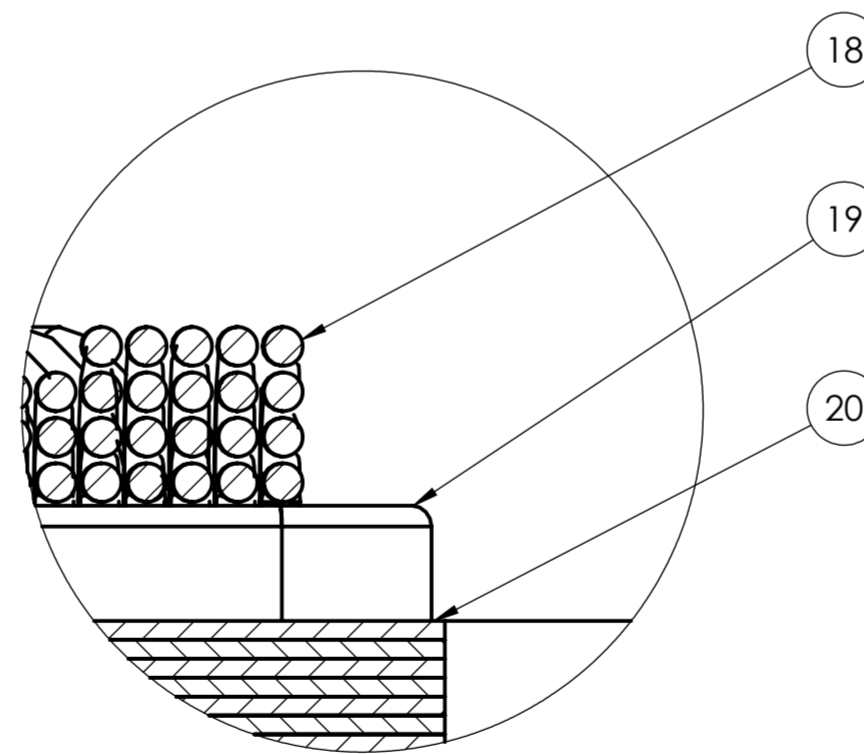
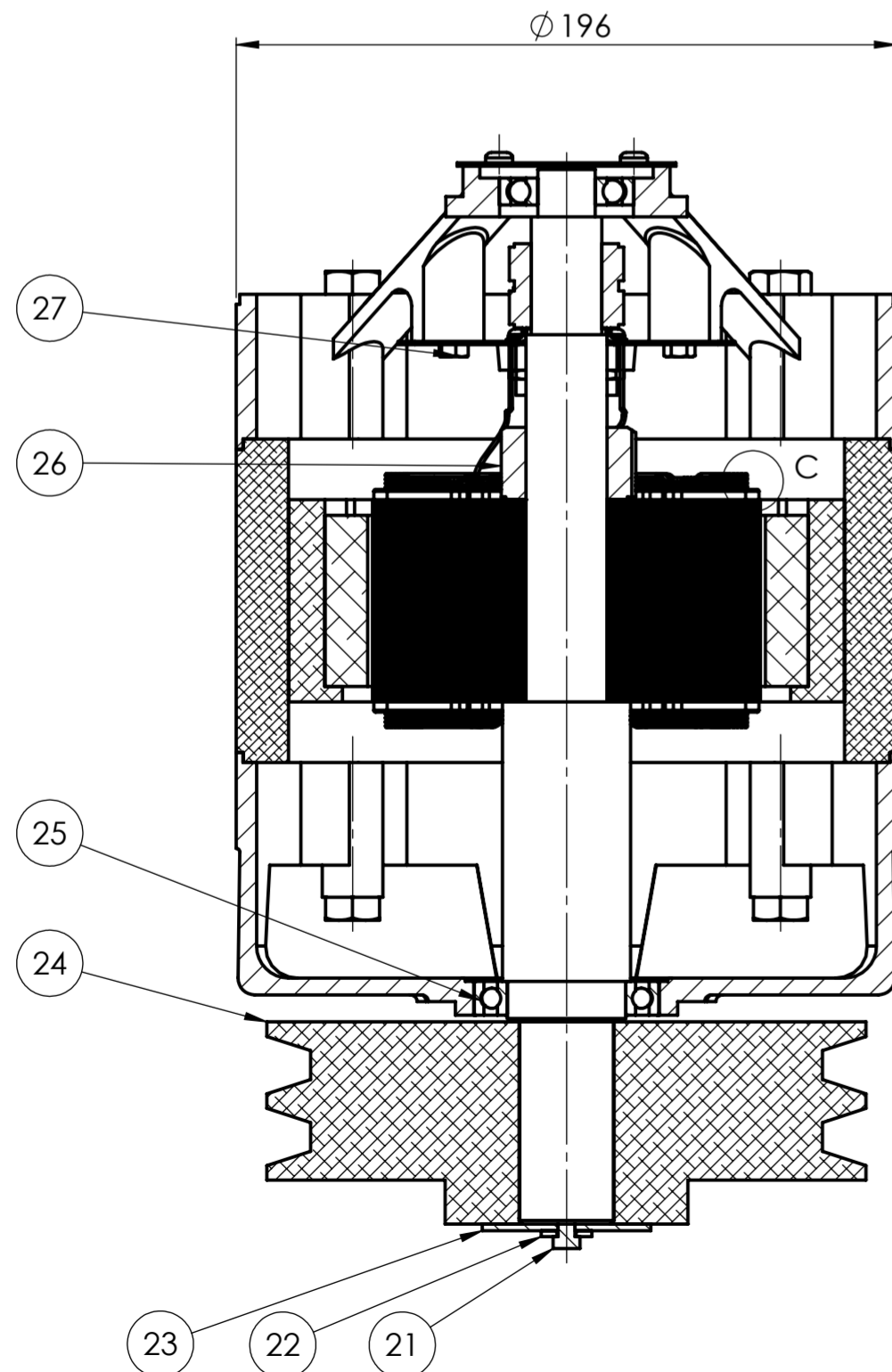
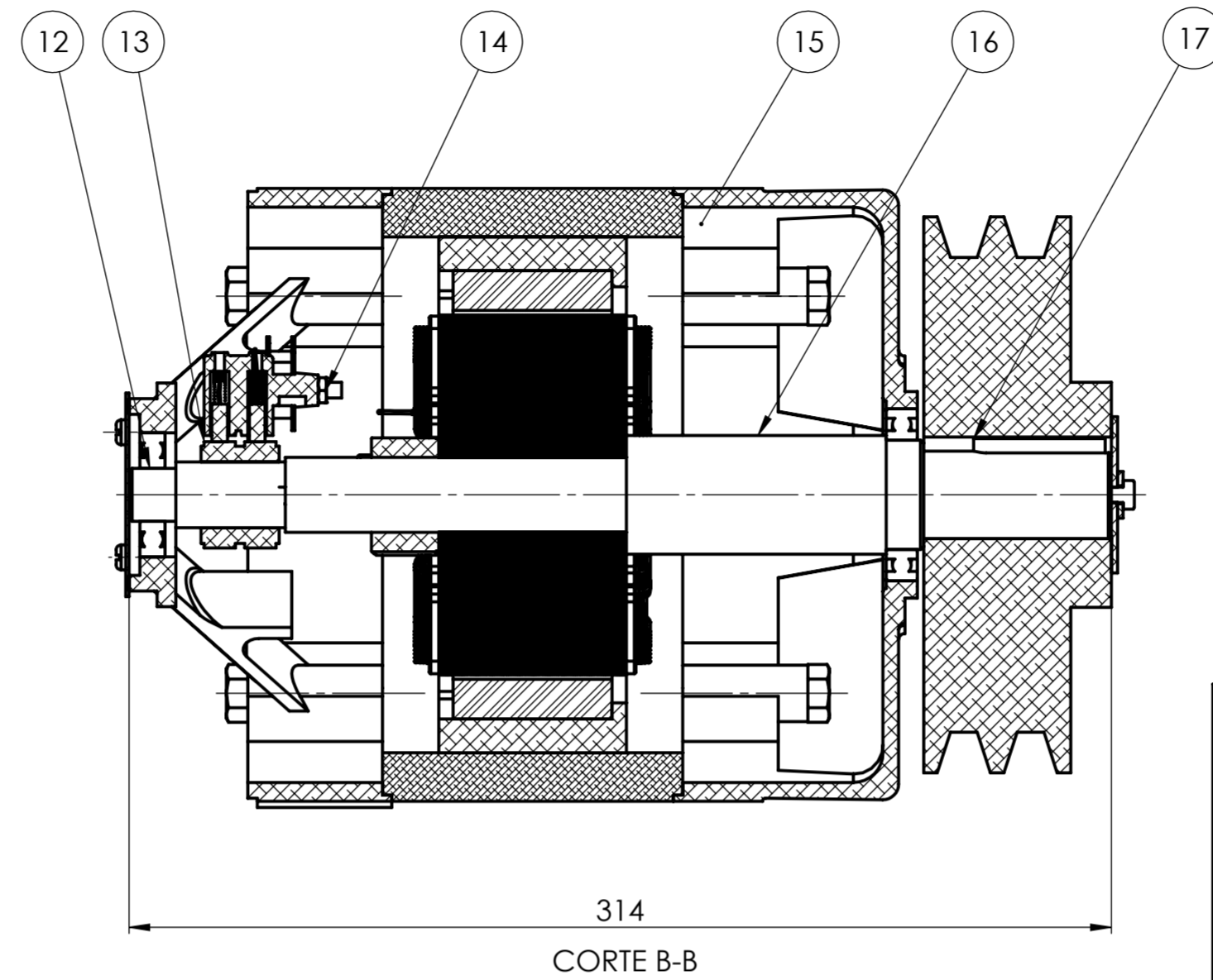
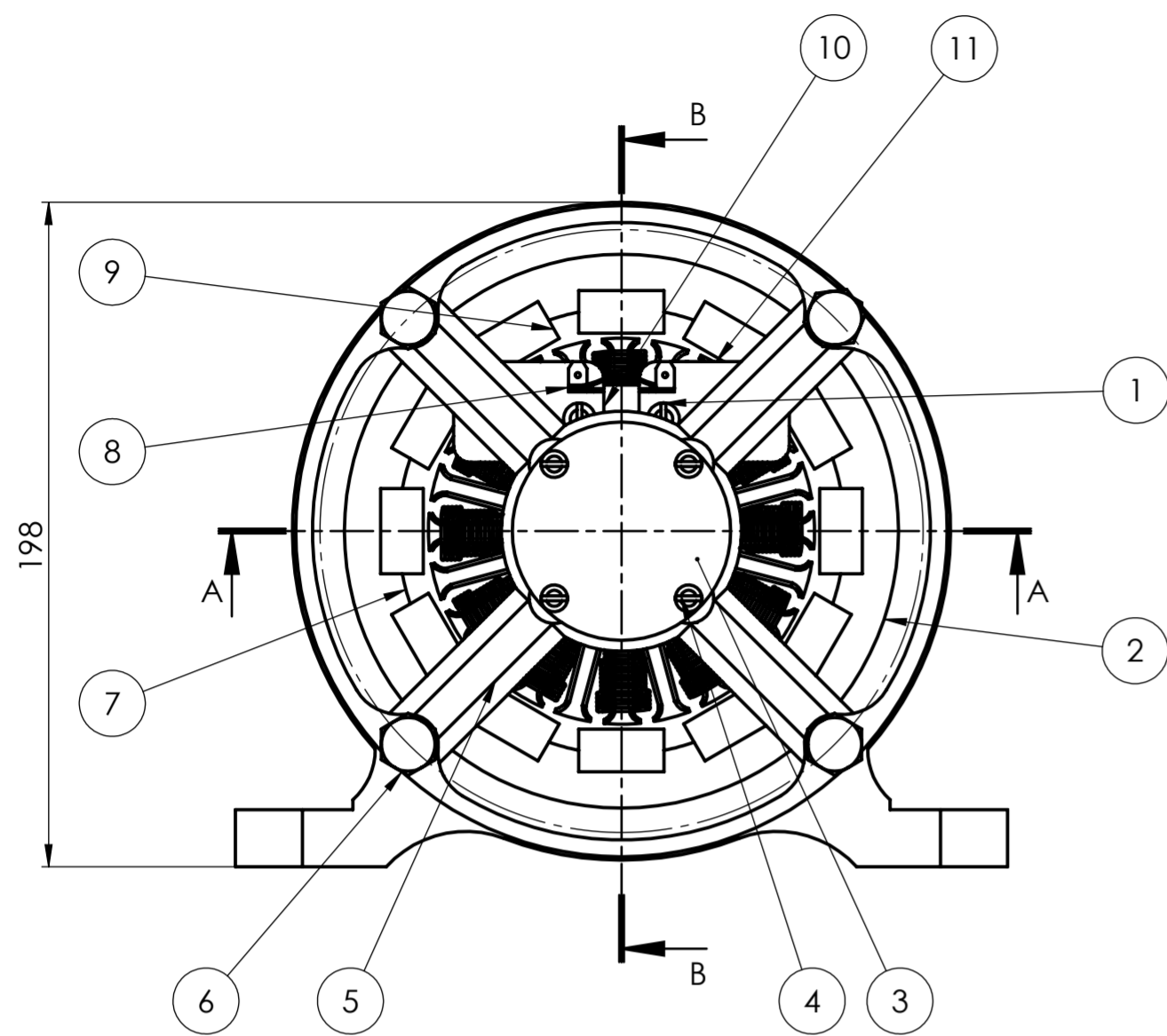
Fuente: Autor

Tabla 47. Turbina Pelton con rotor de acero al Silicio M19 a 100ohm

Caudal m³/h	rpm	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
23,91	12	0,94	0,153	0,14
24,3	35	2,13	0,17	0,36
26,15	66	6,11	0,25	1,53
28,57	118	12,67	0,39	4,94
29,31	143	15,84	0,4	6,34
29,86	159	17,9	0,42	7,52
30,41	178	20,27	0,45	9,12
30,94	192	21,91	0,46	10,08
31,25	199	22,96	0,46	10,56
31,6	212	24,48	0,48	11,75
32,76	243	28,24	0,51	14,4
34,4	282	33,55	0,55	18,45
35,68	323	38,65	0,59	22,8
38,24	370	46,41	0,64	29,7
39,77	414	50,79	0,68	34,54
40,6	459	55,17	0,7	38,62
43,5	532	64,6	0,77	49,74
45,94	580	70,52	0,81	57,12
48,92	627	76,33	0,84	64,12
52,55	672	82,07	0,88	72,22
54,32	697	84,7	0,9	76,23
56,14	716	87,33	0,91	79,47
59,68	769	93,52	0,94	87,91
60,49	800	97,36	0,97	94,44
61,43	812	98,93	0,97	95,96
63,03	837	101,92	0,99	100,9
64,61	864	105,11	1,01	106,16
66,08	884	107,69	1,02	109,84
67,73	913	111,43	1,04	115,89
69,24	932	113,79	1,06	120,62

Fuente: Autor

PLANOS



DETALLE C
ESCALA 5 : 1

Nº de pieza	Denominación	Nº de Norma/Dibujó	Material	Nº de Orden	N.º del Modelo/semiproducto	Peso	Observaciones
2	Perno hexagonal	ANSI Metric	AISI 304	27	M5 x 0,8 x 25	0.6463	
1	Tuerca hexagonal	ANSI Metric	AISI 304	26	B18.2.4.1M - 24 x 3	124.313	
1	Rodamiento	ISO 683-17:1999	Acero al Cr-carbono	25	SKF 61907	9.63	
1	Polea	UNI 5265	Aluminio: 204.0 -T4	24	TIPO 2B ϕ 7in	2821.32	
1	Anillo tope de polea	-	ASTM A36 Acero	23	ϕ 50mm	30.519	
1	Arandela plana	ANSI Metric	AISI 304	22	B18.22M ϕ 5mm	2.107	
1	Tornillo roscado	ANSI Metric	AISI 304	21	M5 x 0,8 x 30	5.95	
120	Lámina ranurada	-	Acero al Silicio M19	20	-	7.850	
24	Cartulina	Clase térmica B	Mylar	19	-	0.422	
1	Alambre bobinado	-	Cobre	18	AWG Nº 18	690.188	
1	Chaveta	-	AISI 1045 Acero estirado en frío	17	-	17.708	
1	Eje	-	AISI 1020	16	-	1625.601	
1	Tapa posterior	-	Aleación 1060	15	-	697.543	
2	Tuerca hexagonal	ANSI Metric	AISI 304	14	B18.2.4.5M - M5 x 0,8	0.875	
1	Colector de delga	-	Cobre	13	C4083	118.898	
1	Rodamiento	ISO 683-17:1999	Acero al Cr-carbono	12	SKF 61903	469.75	
1	Lámina soporte del porta carbon	-	ASTM A36 Acero	11	-	20.738	
1	Porta escobillas de alternador	-	ABS	10	P7161 - ALT. 5 x 6 x 13,8	8.044	
12	IMAN N52	Supermagnete	NdFeB N52	9	50,8 x 25,4 x 12,6	122.903	
2	Escobillas de carbón	-	Grafito	8	Q39	61.153	
1	Porta imanes	-	6061-T4 (SS)	7	-	957.698	
8	Perno hexagonal	ANSI Metric	AISI 304	6	M10 x 1,5 x 60	47.6797	
1	Tapa frontal	-	Aleación 1060	5	-	991.242	
4	Tornillo roscado	ANSI Metric	AISI 304	4	M4 x 0,7 x 8	1.868	
1	Tapa de eje	-	ASTM A36 Acero	3	ϕ 65mm	25.654	
1	Estator	-	Aleación 1060	2	-	2212.466	
2	Tornillo ranurado	ANSI Metric	AISI 304	1	M5 x 0,8 x 16	4.309	

Tolerancia:		Peso:		Material:	
±0,1		12875.93 gr		VARIOS	
FECHA	NOMBRE	Título:			
01/01/2019	Juan Daniel Ramos Cabrero	Generador de flujo radial de polos salientes en el estator			
04/06/2019	ING. MAURICIO CARRILLO	Escala:			
02/07/2019	ING. MAURICIO CARRILLO	1:2			
U.T.A.		N.º De Lámina		Registro:	
INGENIERÍA MECÁNICA		HOJA 1 DE 8			
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombres:	(Sustitución)	

1

2

3

4

D9/

A

B

C

D

E

40,142
40,0804 x ϕ 4,075
4,00040,142
40,080 ϕ 65

Tolerancia:

 ± 0.05

Peso:

25.65 gr

Material:

ASTM A36 Acero e = 1 mm

FECHA

NOMBRE

Título:

Escala:

DIBUJÓ: 07/11/2018

JUAN RAMOS CABRERA

REVISÓ: 04/06/2019

ING. MAURICIO CARRILLO

APROBÓ: 02/07/2019

ING. MAURICIO CARRILLO

Tapa del eje

2:1

U.T.A.

N.º De Lámina:

HOJA 2 DE 8

Registro :

Edición:

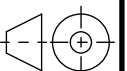
Modificación:

Fecha:

Nombre:

INGENIERÍA MECÁNICA

(Sustitución)



1

2

3

4

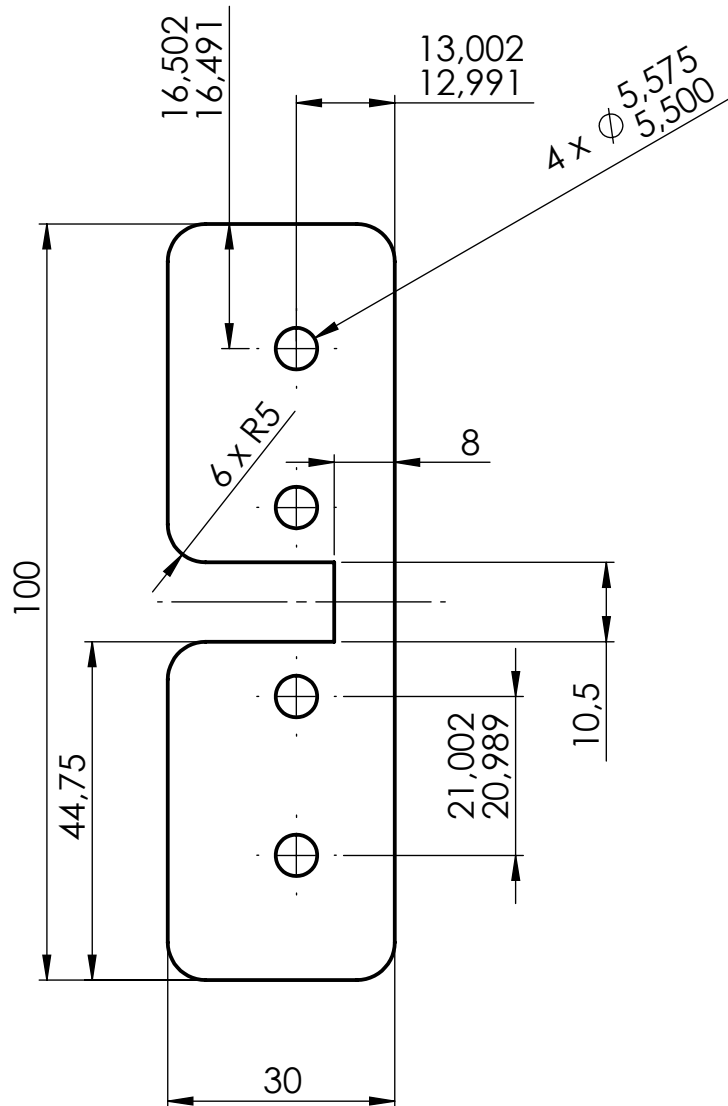
A

B

C

D

E



Tolerancia:

±0.1

Peso:

20.74 gr

Material:

ASTM A36 Acero e = 1mm

FECHA

NOMBRE

Título:

Escala:

DIBUJÓ: 25/11/2018

Juan Ramos Cabrera

Lámina soporte de
porta carbones

1:1

REVISÓ: 04/06/2019

ING. Mauricio Carrillo

APROBÓ: 02/07/2019

ING. Mauricio Carrillo

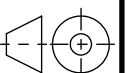
N.º De Lámina:

HOJA 4 DE 8

Registro :

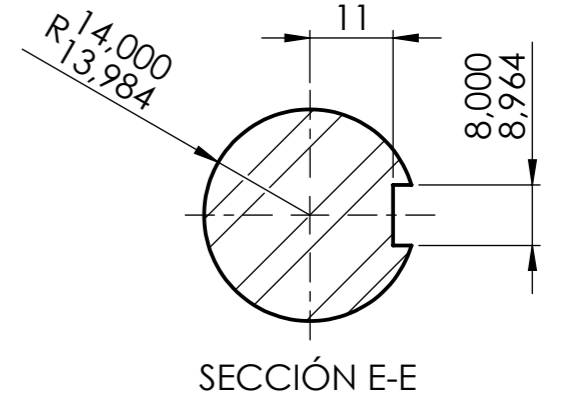
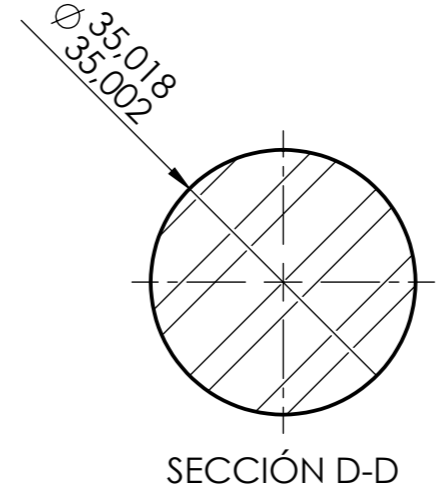
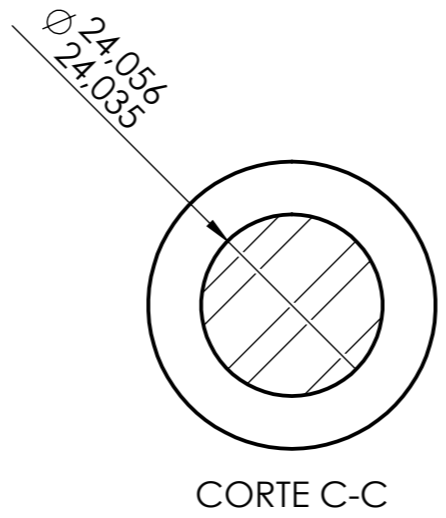
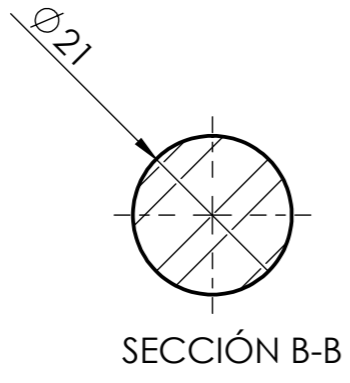
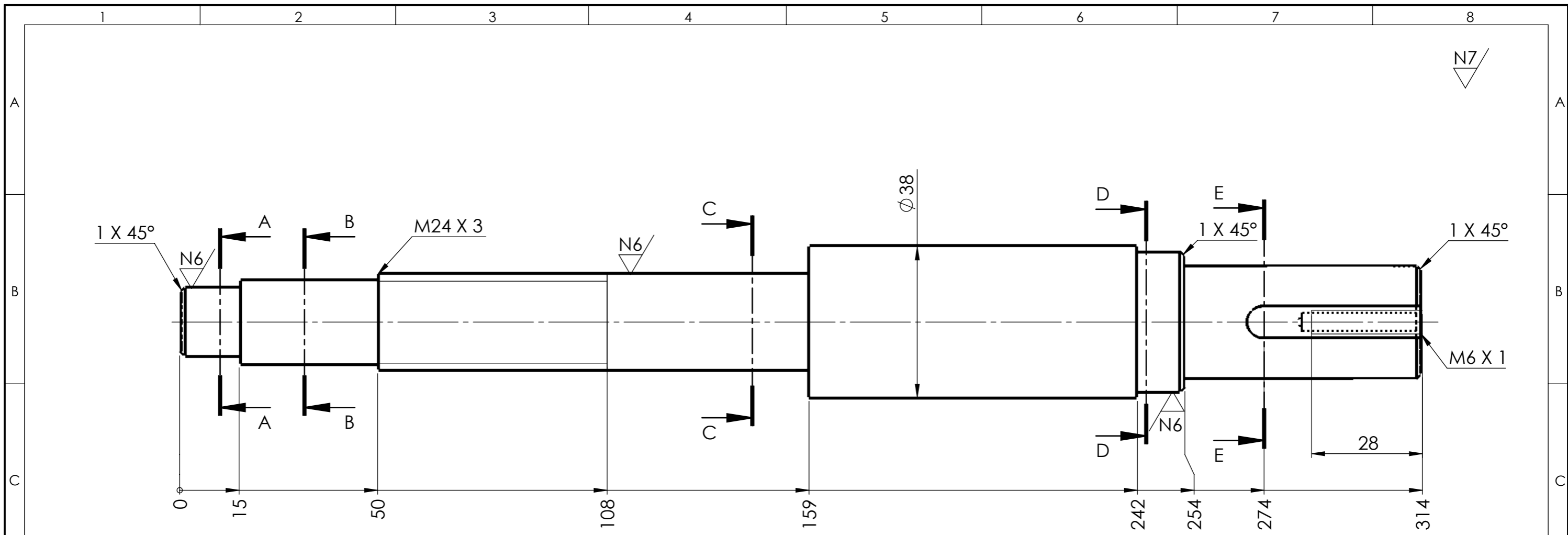
U.T.A.

(Sustitución)



Edición: Modificación: Fecha: Nombre:

INGENIERÍA MECÁNICA



				Tolerancia:	Peso:	Material:		
				±0.1	1625.60 gr	AISI 1020		
				FECHA	NOMBRE	Título:		Escala:
				DIBUJÓ: 23/11/2018	JUAN RAMOS CABRERA	Eje		1:1
				REVISÓ: 04/06/2019	ING. MAURICIO CARRILLO			
				APROBÓ: 02/07/2019	ING. MAURICIO CARRILLO			
				U.T.A.		N.º De Lámina	Registro:	
				INGENIERÍA MECÁNICA		HOJA 5 DE 8		
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:					

1

2

3

4

H9
▽

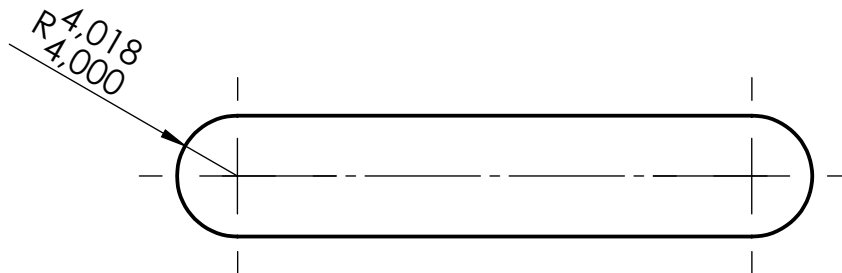
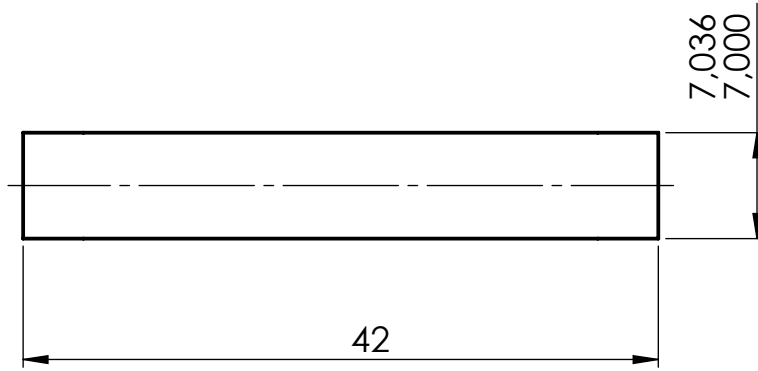
A

B

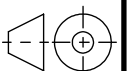
C

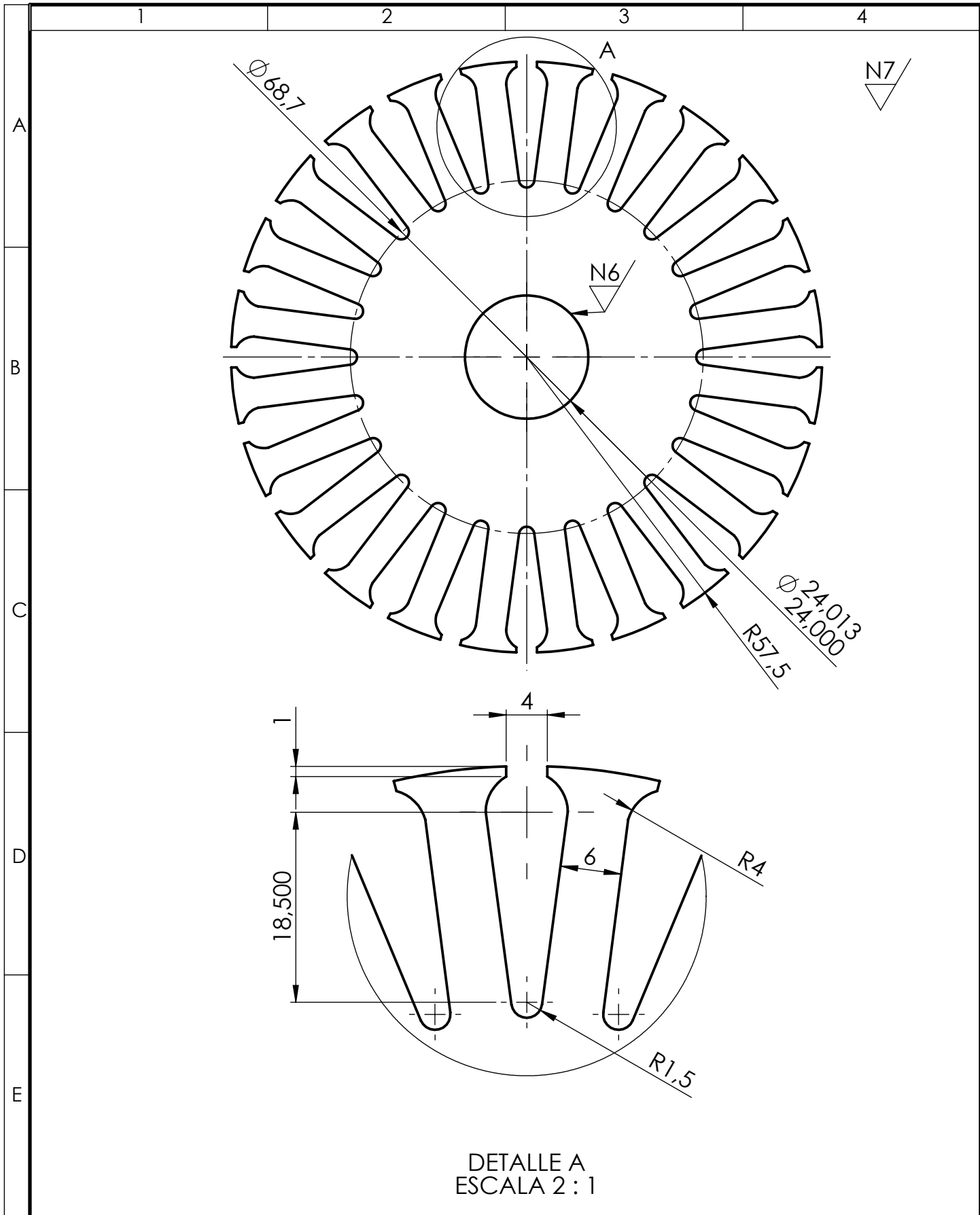
D

E



				Tolerancia: ±0.05	Peso: 17.71 gr	Material: AISI 1045	
						Título: Chaveta	Escala: 2:1
				DIBUJÓ: 07/11/2018	JUAN RAMOS CABRERA		
				REVISÓ: 04/06/2019	ING. MAURICIO CARRILLO		
				APROBÓ: 02/07/2019	ING. MAURICIO CARRILLO		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º De Lámina: HOJA 6 DE 8	Registro :
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:			(Sustitución)	





DETALLE A
ESCALA 2 : 1

				Tolerancia:	Peso:	Material:		
				±0.05	7.85 gr	Acero al Silicio M19 e = 0,5 mm		
				FECHA	NOMBRE	Título:		
				DIBUJÓ: 07/11/2018	JUAN RAMOS CABRERA	Lamina ranurada		
				REVISÓ: 04/06/2019	ING. MAURICIO CARRILLO	Escala:		
				APROBÓ: 02/07/2019	ING. MAURICIO CARRILLO	1:1		
				U.T.A.		N.º De Lámina:		
				INGENIERÍA MECÁNICA		HOJA 7 DE 8		
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:	(Sustitucion)				Registro :

1

2

3

4

A

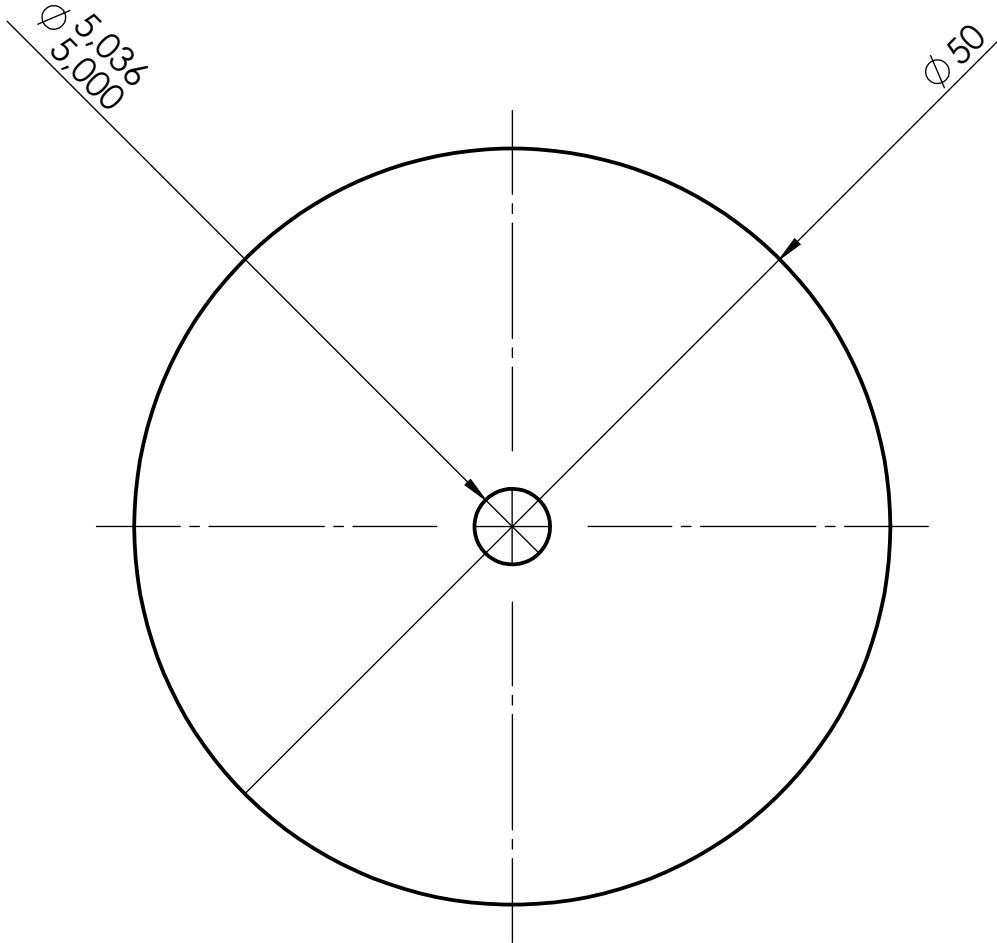
B

C

D

E

H9
▽



				Tolerancia: ±0.05	Peso: 30.52 gr	Material: ASTM A36 Acero e = 2mm	
				FECHA	NOMBRE	Título:	
				DIBUJÓ: 07/11/2018	JUAN RAMOS CABRERA	Anillo tope de polea	
				REVISÓ: 04/06/2019	ING. MAURICIO CARRILLO		
				APROBÓ: 02/07/2019	ING. MAURICIO CARRILLO		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º De Lámina: HOJA 8 DE 8	Registro :
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:			(Sustitución)	

