

**DISEÑO DE UNIDAD GENERADORA POR CORRIENTE FLUIDA  
DE BAJA PRESION.**

OSCAR MARINO CAMPO BONELL

**CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
CARTAGENA DE INDIAS D.T.C.**

**2001**

**DISEÑO DE UNIDAD GENERADORA POR CORRIENTE FLUIDA  
DE BAJA PRESION.**

OSCAR MARINO CAMPO BONELL

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
**Ingeniero Mecánico**

Director  
VLADIMIR QUIROZ  
Ingeniero Mecánico

**CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**  
**CARTAGENA DE INDIAS D.T.C.**

**2001**

Nota de aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado



## **ARTICULO 105.**

La Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar CUTB, se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los Trabajos de Grado aprobados, y no pueden ser explotados comercialmente sin su autorización.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	1
1. ASPECTOS GENERALES	4
1.1 LOCALIZACION	4
1.2 EL CLIMA	4
1.3 GEOMORFOLOGIA Y SUELOS	5
1.4 HIDROLOGIA	5
1.5 ACTIVIDADES ECONOMICAS	6
1.6 INDUSTRIA Y ENERGIA	7
2. ESTUDIO HIDROGRAFICO	9
3. DISEÑO DE LA TURBINA	14
3.1 POTENCIA ELECTRICA DE DISEÑO	15
3.2 RENDIMIENTO TOTAL	16
3.3 POTENCIA HIDRAULICA	16
3.4 VELOCIDADES DE ENTRADA Y SALIDA DE LA TURBINA	16
3.5 ENERGIA HIDRAULICA DISPONIBLE	21
3.6 CAUDAL DISPONIBLE EN FUNCION DE LA POTENCIA HIDRÁULICA	22
3.7 EMPUJE AXIAL	25
3.8 SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE LA TURBINA	26

3.9 VELOCIDAD DE ROTACION	29
4. DISEÑO DEL MULTIPLICADOR DE VELOCIDADES	30
4.1 ANALISIS CINEMATICO	30
4.1.1 Relación de velocidad	32
4.1.2 Dimensiones para ensamblar	32
4.2 EFICIENCIAS	33
4.2.1 Eficiencia eléctrica	33
4.2.2 Eficiencia mecánica	33
4.3 DISEÑO DE LOS PLANETARIOS	34
4.3.1 Fuerza centrífuga	34
4.3.2 Fuerza transmitida por los planetarios	35
4.3.3 Fuerza resultante sobre los ejes planetarios	36
4.3.4 Calculo de los ejes – Criterio A.S.M.E.	37
4.3.5 Proyecto de los Rodamientos planetarios	39
4.4 CALCULOS DE RESISTENCIA. METODO AGMA	44
4.4.1 Coeficientes de Diseño A.G.M.A.	44
4.4.1.1 Coeficiente Elástico $C_p$	44
4.4.1.2 Factores de sobrecarga $C_o, K_o$	45
4.4.1.3 Factores dinámicos $C_v, K_v$	46
4.4.1.4 Factores de Tamaño $C_s, K_s$	48
4.4.1.5 Factores de Distribución de carga $C_m, K_m$	49
4.4.1.6 Factor de condición de la superficie $C_f$	50
4.4.1.7 Factor de Geometría $I$	51

4.4.1.8 Factor de Geometría J	51
4.4.1.9 Factores de vida útil $C_L, K_L$	53
4.4.1.10 Factores de Temperatura $C_T, K_T$	55
4.4.1.11 Factor de relación de dureza $C_H$	55
4.4.1.12 Factores de seguridad $C_R, K_R$	56
4.4.2 Capacidad de carga considerando durabilidad superficial	57
4.4.3 Capacidad de carga considerando la resistencia	59
4.5 DISEÑO DEL ENGRANE SOLAR	61
4.5.1 Calculo del eje - Criterio A.S.M.E.	61
4.5.2 Proyecto de los Rodamientos	61
4.6 DISEÑO DE LA CARCASA	62
4.6.1 Transferencia de Calor	62
4.6.2 Superficie de transferencia de calor	65
4.7 SELECCIÓN DEL LUBRICANTE	65
4.7.1 Parámetro del lubricante	65
4.7.2 Temperatura de Operación	71
4.7.3 Lubricante recomendado y equivalentes	71
5. SISTEMA ELECTRICO DE GENERACION, DISTRIBUCION Y CONTROL	79
5.1 SELECCIÓN DEL GENERADOR	81
5.1.1 Selección de tamaño	81
5.1.2 Selección por su aplicación	83
5.1.3 Selección por tipo eléctrico	83
5.1.4 Selección por letra de diseño	84



5.1.5	Selección por la protección contra el medio ambiente y enfriamiento	86
5.1.6	Condiciones de Operación	86
5.2	DISTRIBUCION Y CONTROL DE LA POTENCIA ELECTRICA	91
5.2.1	Cableado	93
5.2.2	Transformador para circuitos de control, iluminación y accesorios	95
5.2.3	Dispositivos eléctricos de control	99
6.	EMBRAGUE ELECTROMECAÁNICO	102
6.1	MATERIALES DE FRICCION	103
6.2	MOMENTO DE FRICCION	104
6.3	CONSIDERACIONES DE ENERGIA	105
6.4	ELEVACION DE TEMPERATURA	109
6.5	DISEÑO DEL VOLANTE	109
6.6	DISEÑO DEL RESORTE	116
6.7	DISEÑO DE LAS BOBINAS	119
7.	MANTENIMIENTO	121
7.1	COSTOS DE MANTENIMIENTO	122
7.2	ROGRAMACION DEL MANTENIMIENTO	125
7.2.1	Actividades de Mantenimiento	127
7.2.2	Tarjeta maestra de mantenimiento	130
7.2.3	Orden de mantenimiento	131
7.2.4	Programación y control de tiempo de mantenimiento	132
7.3	MANUAL DE MANTENIMIENTO	135
7.3.1	Disposiciones Preliminares	135

7.3.2	Limpieza de superficies metálicas	136
7.3.2.1	Limpieza con solventes y detergentes	136
7.3.2.2	Limpieza manual	137
7.3.2.3	Limpieza a máquina	137
7.3.2.4	Limpieza con chorro de arena	137
7.3.3	Reacondicionamiento de superficies metálicas	138
7.3.4	Mantenimiento de la Turbina	141
7.3.5	Mantenimiento del Multiplicador	142
7.3.6	Mantenimiento del Generador	144
7.3.7	Mantenimiento del Embrague Electromecánico	145
7.3.8	Mantenimiento del Bulbo, Tobera y Difusor	145
7.3.9	Mantenimiento de la Estructura de Soporte	146
8.	PRESUPUESTOS	147
8.1	PRESUPUESTO DE MATERIALES Y FABRICACION	147
8.2	PRESUPUESTO DE MONTAJE	153
8.3	PRESUPUESTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	156
9.	EVALUACION DEL PROYECTO	157
9.1	ANALISIS COMERCIAL	158
9.2	ANALISIS SOCIAL	159
9.3	ANALISIS DE INTANGIBLES	159
9.4	ANALISIS ADMINISTRATIVO	160
9.5	ANALISIS TECNICO	160
9.6	ANALISIS ECONOMICO	164

9.7 ANALISIS FINANCIERO	167
9.8 ANALISIS AMBIENTAL	168
10. RECOMENDACIONES	169
10.1 RECOMENDACIONES DE DISEÑO	169
10.2 RECOMENDACIONES DE MONTAJE Y MANTENIMIENTO	169
10.3 RECOMENDACIONES DE OPERACION	170
11. CONCLUSIONES	172
BIBLIOGRAFIA	176
ANEXOS	178

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Datos Hidrográficos Teóricos y Experimentales del canal del Dique – Sector Gambote, tomados durante el año 1999.	13
Cuadro 2. Caudal en función de la Potencia Hidráulica.	24
Cuadro 3. Guía para los valores de la duración L10h de rodamientos.	39
Cuadro 4. Rodamientos rígidos de bolas con placas de protección.	42
Cuadro 5. Coeficiente Elástico Cp.	44
Cuadro 6. Factores de Sobrecarga Co.	45
Cuadro 7. Factores de servicio para transmisiones.	45
Cuadro 8. Factores de Distribución de Carga Cm y Km.	49
Cuadro 9. Factores de vida útil.	53
Cuadro 10. Factores de seguridad.	56
Cuadro 11. Resistencia a la fatiga en la superficie AGMA Sc.	57
Cuadro 12. Resistencia a la flexión AGMA St.	60
Cuadro 13. Interpretación del espesor mínimo de película.	67
Cuadro 14. Módulos de Elasticidad ( E ) y de cizalladura ( G' ).	69
Cuadro 15. Lubricantes recomendados para engranajes rectos.	73
Cuadro 16. Rangos mínimo y máximo de la viscosidad en el sistema AGMA.	73
Cuadro 17. Rangos mínimo y máximo de la viscosidad en el sistema ASTM.	74
Cuadro 18. Clasificación de la viscosidad en el sistema ISO.	74

Cuadro 19. Viscosidad de los aceites para engranajes automotores.	75
Cuadro 20. Clasificación de los aceites multigrados.	76
Cuadro 21. Equivalencias entre los diferentes sistemas de clasificación.	78
Cuadro 22. Número de carcasa NEMA según la potencia.	82
Cuadro 23. Características eléctricas de diseño del Generador.	84
Cuadro 24. Características mecánicas de diseño del Generador.	85
Cuadro 25. Capacidades nominales de fabricación del Generador.	89
Cuadro 26. Dimensiones típicas de Generadores.	90
Cuadro 27. Instalación de ductos eléctricos.	94
Cuadro 28. Capacidades de transporte de corriente permisible de los conductores de cobre aislados, expresadas en amperios.	94
Cuadro 29. Simbología Eléctrica.	101
Cuadro 30. Materiales de fricción para embragues.	103
Cuadro 31. Selección del volante.	115
Cuadro 32. Permeabilidades relativas.	119
Cuadro 33. Actividades de Mantenimiento para la turbina.	127
Cuadro 34. Actividades de Mantenimiento para el Multiplicador.	127
Cuadro 35. Actividades de Mantenimiento para el Generador.	128
Cuadro 36. Actividades de Mantenimiento para el embrague Electromecánico.	128
Cuadro 37. Actividades de Mantenimiento para el Bulbo, Tobera y Difusor.	129
Cuadro 38. Actividades de Mantenimiento para la Estructura de Soporte.	129
Cuadro 39. Características de pinturas, anticorrosivos y acondicionadores de superficie.	140

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sección transversal promedio del Canal del Dique.	11
Figura 2. Sistema de Medición de Velocidad del agua.	12
Figura 3. Diferentes tipos de rodets de turbinas.	18
Figura 4. Diagrama de velocidades de la turbina.	19
Figura 5. Gráfica de Potencia Hidráulica contra caudal.	25
Figura 6. Distribuciones de Fuerza y Velocidad de la Turbina.	26
Figura 7. Gráfica para la determinación de la velocidad específica.	27
Figura 8. Diagrama de cuerpo libre del multiplicador de velocidades.	31
Figura 9. Diagrama de cuerpo libre – Planetarios.	36
Figura 10. Diagrama de cuerpo libre – Rodamientos Planetarios.	40
Figura 11. Dimensiones de los rodamientos planetarios.	41
Figura 12. Intervalos de relubricación para rodamientos.	43
Figura 13. Factores dinámicos $C_v$ y $K_v$ .	48
Figura 14. Factor de Geometría $I$ .	52
Figura 15. Factor de Geometría $J$ .	52
Figura 16. Factor de vida útil $C_L$ .	54
Figura 17. Factor de vida útil $K_L$ .	54
Figura 18. Cálculo del espesor específico de la película lubricante.	66

Figura 19. Diagrama de rugosidades.	67
Figura 20. Viscosidades de aceites minerales en el sistema AGMA.	72
Figura 21. Nomograma de viscosidades sistema ISO.	75
Figura 22. Nomograma de viscosidades de aceites uní grados para Engranajes automotores.	76
Figura 23. Nomograma de viscosidades de aceites automotores multigrados derivados del petróleo.	77
Figura 24. Dimensiones típicas de Generadores 180T-449T	89
Figura 25. Relaciones del factor de potencia	93
Figura 26. Elemento considerado en un disco de fricción.	102
Figura 27. Diagrama de cuerpo libre – Volante.	110
Figura 28. Ciclo de operación Embrague – Volante.	111
Figura 29. Dimensiones del volante.	115
Figura 30. Niveles de Mantenimiento.	124

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Turbinas Bulbo, Pozo, y Tubular .	178
Anexo B. Turbina Bulbo.	179
Anexo C. Planta Hidroeléctrica de TRIER ( Alemania).	180
Anexo D. Turbina Tubular de la Planta TRIER.	181
Anexo E. Viscosidad de Líquidos.	182
Anexo F. Conductividad térmica de líquidos.	183
Anexo G. Calor específico de líquidos.	184
Anexo H. Ranuras, Chavetas y Chaveteros.	185
Anexo J. Ejes y Agujeros con chavetas sólidas y múltiples.	186
Anexo K. Valores de Tolerancia de engranes.	187
Anexo L. Tolerancias adecuadas en aplicaciones de rodamientos radiales de bolas y de rodillos para ejes y alojamientos.	188
Anexo M. Materiales para resortes.	189
Anexo N. Peso por metro y sección en mm <sup>2</sup> de barras redondas y cuadradas de acero.	190
Anexo P. Peso de Tornillos de hierro forjado con rosca corriente.	191
Anexo Q. Pesos teóricos para láminas y planchas de acero con dimensiones comerciales.	192
Anexo R. Símbolos Estándar de Soldadura – American Welding Society.	193



Anexo S. Sistema de clasificación de la AWS para electrodos revestidos de acero dulce y baja aleación.	194
Anexo T. Selección de electrodos para soldar aceros inoxidables.	195
Anexo U. Composición química y propiedades mecánicas de láminas y planchas Hot Rolled.	196
Anexo V. Norma ASTM A6/A 6M Perfiles “W” ó H.	197

## **RESUMEN**

El proyecto desarrollado en este documento, tiene que ver con el diseño de una Unidad Generadora accionada por una corriente hidráulica constante que específicamente para este caso proviene del Canal del Dique, sector Gambote. El objetivo de este diseño es satisfacer la demanda energética de muchas poblaciones ribereñas que cuentan con un potencial hídrico considerable, que se abastecen de energía eléctrica costosa y de regular suministro. Además, proveer a la tecnología nacional de un conocimiento adicional sobre construcción de este tipo de unidades considerando que su construcción es sencilla y económica.

La metodología utilizada se basa en el desarrollo secuencial de capítulos en los cuales se diseña independientemente los componentes de mayor importancia y complejidad. Por ejemplo la turbina, el multiplicador de velocidad, el embrague electromecánico y la selección del sistema generador. Esto va formando un conjunto armónico de piezas que dan como resultado el montaje de un artefacto de sencilla configuración pero con alto nivel de eficiencia, seguridad y durabilidad. No existe en el desarrollo de este trabajo, ningún concepto, fórmula o teoría que no esté demostrada en la mecánica convencional, basándose su ejecución y memoria de cálculo en datos estudiados físicamente y comparados con los resultados de fórmula.

Las conclusiones a todo esto, es que se puede con algo de esfuerzo e imaginación lograr construir sistemas de generación portátiles y adecuados a cada necesidad, con un costo bajo y larga vida útil. Al quedar estructurada la base de cálculo, puede modificarse con criterios de optimización utilizando conceptos de ingeniería y tecnología local o extranjera, siempre y cuando sea de fácil adquisición. Siendo este diseño una modificación al tipo de turbinas bulbo, no encuentra diferencia en cuanto a capacidad y configuración de fuerzas actuantes, ya que su cálculo hidráulico conserva las mismas condiciones. Para generar energía eléctrica encuentra grandes ventajas como buena refrigeración, montaje sencillo, control accesible, y buena configuración para mantenimiento.

## INTRODUCCION

Buscando condiciones económicas favorables para el aprovechamiento de energía del agua, los ingenieros han fijado siempre su atención en los saltos de mediana y gran altura. Se han desarrollado así potentes turbinas, tratando de concentrar, cada día, mayor potencia en una sola unidad; lo que ha obligado, necesariamente, a proyectar máquinas de grandes dimensiones. Se menospreciaban los aprovechamientos de pequeñas cargas ( 5, 10 y hasta 15 metros ) por resultar incosteables con el empleo de las turbinas convencionales Francis e incluso hélice o Kaplan, debido, fundamentalmente, a las profundas y costosas excavaciones.

Pero la creciente demanda de energía estaba obligando a pensar en toda clase de aprovechamientos. Si las máquinas convencionales no satisfacían, sería necesario idear otros tipos. Es así como aparecieron, en los pasados años, las *turbinas bulbo*, las *tubulares* y las *de pozo* ( Anexo A ), que permiten aprovechar caídas de uno a quince metros. La particularidad fundamental en todas ellas es, que el eje se ha dispuesto en la dirección horizontal o casi horizontal, a fin de reducir las dimensiones en vertical y por tanto las excavaciones; circunstancia esta, que se presenta en la turbina Kaplan de eje vertical, a la cual podría recurrirse en los casos de pequeñas cargas.

En estos nuevos tipos, desaparece la cámara espiral o caracol, practicándose la alimentación directamente desde el embalse, por medio de un tubo de aspiración rectilíneo, que manda el agua sobre el rotor de la turbina a través de unas paletas directoras. El rotor, tipo hélice, con álabes fijos o ajustables, tiene su eje en la misma dirección del ducto, facilitando el paso de grandes caudales de agua. La descarga se logra por una continuidad del mismo ducto, en forma análoga al desfogue de una turbina de reacción convencional.

En la turbina BULBO, el generador y multiplicador de velocidades están encerrados en un recinto metálico estanco, que generalmente precede al rotor, apareciendo el conjunto como una pera o bulbo, de donde deriva su nombre esta turbina. Para el acceso al generador, así como para el paso de las conducciones y servicios, se dispone de un ducto o chimenea que comunica con el exterior ( Anexo B ). Este sistema es ligeramente más costoso, pues requiere el empleo de generadores de diseño especial, pero tiene la ventaja de que se facilita el desfogue, incrementándose la energía recuperada en el mismo.

El rendimiento de estos tipos de turbinas es tan satisfactorio o superior al de una turbina Kaplan, particularmente en aquellos casos en los que se disponen álabes ajustables en el rotor y en los portillos de acceso del agua al rotor. Además, el ducto rectilíneo de alimentación y de desfogue reduce al mínimo las pérdidas de energía en el flujo. La curva de rendimiento se mantiene así casi plana, a un nivel aproximado del 90%, para diferentes valores de la potencia.

Una de las deficiencias más notables que se advierten en las turbomáquinas de hélice de álabe fijo, en las cuales la incidencia del agua sobre el borde de ataque se produce bajo ángulos inapropiados al variar la potencia dando lugar a separación o choques, que reducen fuertemente el rendimiento de la unidad. Puede, sin embargo, justificarse el empleo de turbinas de hélice de álabe fijo en aquellas instalaciones en las que no sea muy sensible la variación de potencia.

La multiplicación de unidades para atender mejor a las necesidades de la demanda se hace obligado en las plantas que operan aisladas. Pero, en la actualidad, lo más frecuente es la interconexión de plantas, controladas por un Despacho Central, con lo que una planta, en el sistema interconectado, viene a ser como una unidad operando en una planta aislada, ( Anexo C ).

## **1. ASPECTOS GENERALES**

### **1.1 LOCALIZACION**

El corregimiento de Gambote, perteneciente al Municipio de Arjona, está localizado en el centro de la subregión litoral del departamento de Bolívar con una altura de 63 m sobre el nivel del mar, situado a  $14^{\circ} 14' 30''$  de latitud norte y  $75^{\circ} 19' 40''$  longitud oeste. Las ventajas que ofrece la localización de Gambote para su desarrollo, se traduce de la siguiente manera: Por ser la carretera Troncal de Occidente su principal vía de comunicación con Cartagena, la zona centro y sur del departamento de Bolívar y con el departamento de Sucre, Gambote goza de una fácil comunicación hacia estos, lo cual permite el desplazamiento de bienes y personas a diferentes sitios especialmente con Cartagena.

### **1.2 EL CLIMA**

Las características climáticas del corregimiento de Gambote corresponden a los de tipo tropical. En la zona no existen las lluvias de relieve debido a que está formado por lomas que no sobrepasan los 200 m sobre el nivel del mar, lo cual es favorable para la condensación de la humedad proveniente del océano durante los meses de verano.

Existen los dos grandes períodos, el de sequía y el de humedad, el período de sequía se inicia a mediados de diciembre y dura hasta marzo y pocos días de abril, en esta época

soplan los fuertes vientos Alisios del norte que permiten refrescar el ambiente, permaneciendo el resto del año con las suaves brisas especialmente en las horas de la tarde, la tierra en esta época se agrieta y las actividades agropecuarias se ven afectadas por la escasez de agua. La temperatura del corregimiento de Gambote presenta una temperatura media anual de 28 ° C, humedad 84.5 % y evaporación de 1124.5 mm<sup>3</sup>.

### **1.3 GEOMORFOLOGIA Y SUELOS**

El corregimiento de Gambote se caracteriza por ser plano y ligeramente ondulado, con algunas elevaciones que no alcanzan los 200 m sobre el nivel del mar. Tiene una topografía variable, encontrándose: Zonas planas y onduladas riveras 90 % y Zonas de cerros y restos 10 %. En términos el corregimiento de Gambote se caracteriza por tener un terreno ondulado y pantanoso. Los suelos ubicados en las márgenes del Canal del Dique, son bajos anegadizos en las crecientes estacionales del río Magdalena, siendo estos en un factor de riesgo para la población aledaña a la arteria fluvial.

### **1.4 HIDROLOGIA**

El corregimiento de Gambote y el municipio de Arjona en general, se destacan por su alta producción de agua, producto de un número de arroyos y ciénagas que hacen parte de la cuenca hidrográfica del Canal del Dique, brazo del río Magdalena, Canal que parte del municipio de Calamar y va a desembocar en el mar Caribe en la Bahía de Barbacoas, por lo que se constituye en la más importante arteria fluvial de esta región del departamento, el



cual es aprovechado para el desarrollo de la actividad pesquera, sistema de riego para los cultivos, transporte y comunicación.

El resto de las corrientes de aguas está constituido por un sin número de arroyos y caños que dentro del paisaje conforman una red. Entre los pocos que conservan un gran caudal a través de todo el tiempo, se pueden mencionar el Arroyo Caimán que nace un poco al noreste del área urbana de Arjona y llega al Canal del Dique cerca del caserío de Pueblo nuevo y es alimentado por muchos arroyos y cañadas. También cuenta con numerosas ciénagas de distintos tamaños y formas, entre las más importantes tenemos de occidente a oriente, a la derecha del Canal del Dique la Ciénaga de Bohorgues, que está comunicada con la ciénaga de Juan Gómez frente a Rocha, en la parte superior de Gambote, Aguas Claras y Totumo. Se puede destacar entre otras la Ciénaga de Palotal, Honda, La Cruz y Jinete, así como los Arroyos de Pita, Caimital, Quilembe, el Canal del Dique que atraviesa la parte sur del municipio.

## **1.5 ACTIVIDADES ECONOMICAS**

Las actividades más significativas que definen la base económica del municipio de Arjona y el corregimiento de Gambote son la agricultura, seguida de la actividad pecuaria, la pesca y la explotación forestal, esta última en menor escala en la parte rural. La concentración de la tierra ha afectado de manera importante la actividad agropecuaria, la existencia de grandes extensiones de tierras improductivas con ganadería extensiva, donde el recurso suelo está sub-utilizado, con las implicaciones negativas que ello tiene para la

economía y el empleo, lo cual se convierte en obstáculo para el crecimiento del sector agropecuario.

Presenta al mismo tiempo restricciones por el régimen pluviométrico caracterizado en algunas zonas, los largos períodos de sequía y mala distribución de lluvias. Esta limitante natural exige, si se pretende incrementar las áreas cultivadas, realizar esfuerzos en adecuación de nuevas tierras con riego y drenaje. Los altos costos de producción de la agricultura originados por los altos precios de los insumos utilizados, han contribuido a la disminución de la rentabilidad de la actividad y de las áreas cultivadas. La pesca artesanal es un renglón importante en la economía del municipio, debido a que el Canal del Dique atraviesa el sur del municipio de Arjona con grandes perspectivas para el futuro. Esta cuenca incluye varias ciénagas de las cuales la más importante es la de Palotal, según las capturas promedios anuales.

## **1.6 INDUSTRIA Y ENERGIA**

El municipio de Arjona, en su área urbana no presenta una zona o sector específico de localización industrial. Se presenta un tipo de industria segregada, cuya población se desarrolla en espacios adaptados para tal fin. La industria en Arjona es de tipo artesanal y talleres como por ejemplo: carpintería, ebanistería y talabartería, con un bajo índice de ocupación del 9.79 % equivalentes a 2.60 hectáreas; este tipo de industrias se desarrolla dentro de las viviendas de estrato bajo y bajo medio de la población.

La evolución de la industria artesanal no ha tenido un gran desarrollo. En el proceso de transformación y elaboración de los productos se utiliza la combinación de la técnica manual y mecanizada. El suministro de energía viene de la interconexión eléctrica con Electrocosta. Según datos estadísticos el 90 % de las viviendas cuenta con el servicio de energía en el área urbana.

## 2. ESTUDIO HIDROGRAFICO

La mayor parte de los flujos de agua en canales abiertos son turbulentos, el flujo no uniforme a régimen permanente ocurre en cualquier canal irregular en donde la descarga no varía con el tiempo; también se presenta en canales regulares cuando el tirante, y por lo tanto la velocidad promedio, cambian de una sección transversal a otra. En el caso de flujo en canales abiertos, la velocidad en las fronteras sólidas es cero y por lo general aumenta con la distancia de la frontera. La velocidad máxima no ocurre en la superficie libre y por lo general se encuentra por debajo de la superficie libre, a una distancia de 0.05 a 0.25 del tirante. La velocidad promedio a lo largo de una línea vertical se mide por la velocidad a 0.6 del tirante; un método más confiable toma el promedio de las velocidades a 0.2 y 0.8 del tirante, de acuerdo con las mediciones del Instituto de Investigaciones en Geociencias Minería y Química – INGEOMINAS.

El rozamiento en un conducto abierto depende de la superficie mojada, y por lo tanto no depende solo de la sección transversal en  $m^2$ , sino también de la forma de esta, que hará que la superficie en contacto con el líquido sea mayor o menor. Se llama radio hidráulico  $R_h$  al cociente del área transversal ocupada por la corriente, por el perímetro mojado de esta sección.

$$R_h = \frac{\text{Área transversal}}{\text{Perímetro mojado de la sección transversal}}$$

En un canal la superficie en contacto con la atmósfera prácticamente no tiene rozamiento alguno. El radio hidráulico en un canal será la superficie transversal ocupada por el flujo dividida por el perímetro mojado ( excluyendo por tanto el lado en contacto con la atmósfera ).

La fórmula de Manning para la velocidad teórica del agua en un canal con movimiento uniforme, es considerada como la más satisfactoria y es la siguiente:

$$V = \frac{1}{n} Rh^{2/3} S^{1/2}$$

donde n : Coeficiente de Rugosidad = 0.03 para arena o tierra.

Rh: Radio hidráulico

S: Pendiente del Canal.

La fórmula de Chezy es la más utilizada en Francia y es la siguiente:

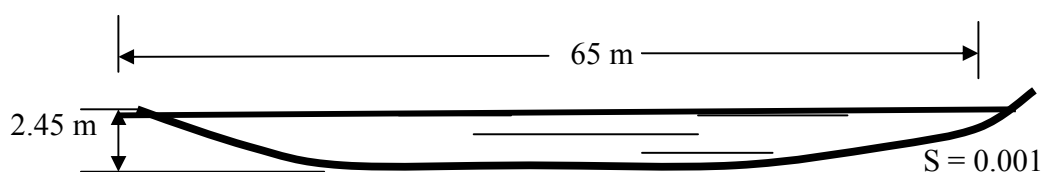
$$V = C \sqrt{Rh \times S}$$

$$C = \frac{87}{m \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{Rh}} \right)}$$

donde m: Coeficiente de Rugosidad = 1.75 para arena o tierra.

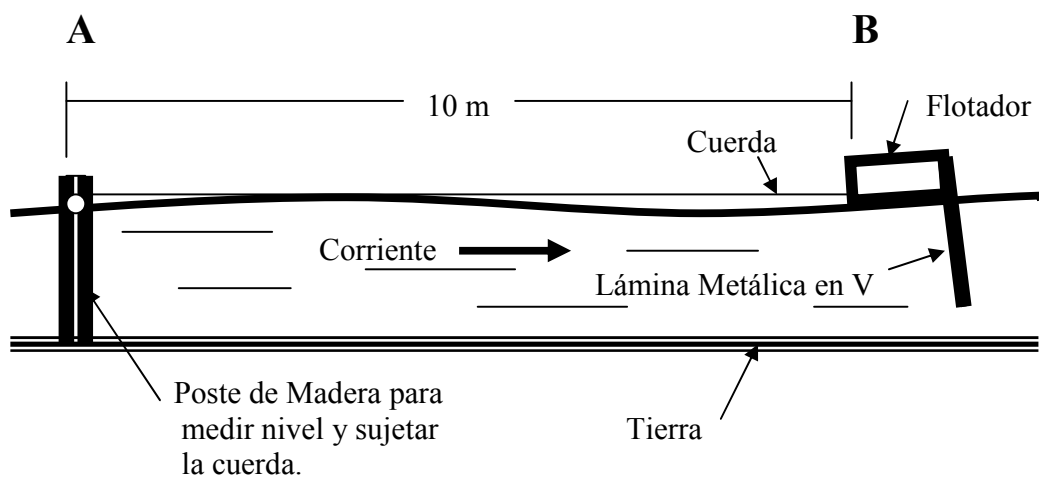


Los registros diarios de las descargas de ríos, en períodos de tiempo grandes, son esenciales para la planeación económica del uso de los recursos hidráulicos y para la protección contra inundaciones. La medición diaria de la descarga para determinar la distribución de velocidad en una sección transversal del río es costosa. Para evitar el costo y sin embargo tener registros diarios se establecen secciones de control en partes donde el canal del río es estable, es decir, hay poco cambio en el fondo o los lados del lecho del río. La sección del control se encuentra casi siempre en un punto de ruptura de la pendiente del fondo del río donde se vuelve más inclinado corriente abajo. Se coloca una barra de medición en la sección de control y la elevación de la superficie del agua se mide leyendo el nivel del agua sobre la barra; en algunos casos se emplean medidores controlados por flotadores que registran en forma continua la elevación del río. Se hace una curva de altura medida – descarga o hidrógrafa por medio de mediciones tomadas de tiempo en tiempo conforme cambia la descarga del río. En la figura 1, se muestra la sección topográfica promedio del Canal del Dique en el sector de Gambote ( Estación de Bombeo Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. ), obtenida mediante medición directa.



**Figura 1. Sección transversal promedio del Canal del Dique en Gambote ( Estación de Bombeo Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. )**

Experimentalmente se midió la velocidad del agua con un dispositivo flotador que era empujado por la corriente y controlado por una cuerda de una longitud de 10 m, distancia que el dispositivo recorría en un tiempo tomado con un cronómetro al templearse la cuerda sobre la superficie del agua. El flotador lleva sujeta una lámina metálica en la parte frontal y opuesto al nudo de la cuerda con un doblado en V, además está inclinada hacia delante para que el momento de giro con respecto al centroide del flotador genere una fuerza de sustentación que le permita mantenerse paralelo a la superficie y pueda romper la corriente. Los resultados obtenidos tuvieron bastante aproximación al valor teórico teniendo en cuenta el contenido de sólidos presentes en el Canal ( piedras, arbustos, desechos sólidos, etc ), que aumentan las pérdidas de velocidad. En la figura 2, se muestra esquemáticamente este dispositivo de medición.



**Figura 2. Sistema de medición de velocidad del agua.**



Al soltarse el flotador en el punto A, debe impulsársele un poco para contrarrestar el efecto de la inercia y activar el cronómetro. Al llegar al punto B se para el cronómetro, se anota el tiempo y luego se recoge la cuerda con el flotador para iniciar nuevamente el proceso hasta obtener una media aritmética de por lo menos diez ensayos.

Con los datos tomados se obtiene:

- Temperatura: se hallan las propiedades físicas del agua.
- Profundidad, ancho del tirante y perfil de la sección transversal: se calculan el área de sección transversal y el perímetro mojado del mismo para obtener el radio hidráulico de cada medición.
- Radio hidráulico: Permite calcular la velocidad teórica del agua en el canal por medio de la Ecuación de Manning y Chezy, también se obtiene el caudal.

Todos estos datos se reúnen en la tabla 1 con sus respectivos promedios.

**Cuadro 1. Datos Hidrográficos teóricos y experimentales del Canal del Dique – Sector Gambote, tomados durante el año 1999.**

Mes	Temp. ° C	H m	A m <sup>2</sup>	P M	Rh m	Manning m / s	Chezy m / s	Ve m / s	Q m <sup>3</sup> / s
Ene	16	2.4	156	69.8	2.23	1.79	1.89	1.31	249.6
Feb	17	2.5	162.5	70	2.32	1.84	1.95	1.29	263.25
Mar	18	2.3	149.5	69.6	2.15	1.75	1.84	1.26	231.73
Abr	17	2.5	162.5	70	2.32	1.84	1.95	1.28	262.4
May	15	2.6	169	70.2	2.41	1.89	2.00	1.32	280.5
Jun	13	2.7	175.5	70.4	2.49	1.94	2.05	1.35	298.35
Jul	14	2.4	156	69.8	2.23	1.79	1.89	1.35	252.72
Ago	15	2.4	156	69.8	2.23	1.79	1.89	1.31	249.6
Sep	13	2.5	162.5	70	2.32	1.84	1.95	1.35	268.13
Oct	14	2.4	156	69.8	2.23	1.79	1.89	1.34	251.94
Nov	13	2.4	156	69.8	2.23	1.79	1.89	1.33	251.16
Dic	17	2.3	149.5	69.8	2.15	1.75	1.84	1.29	233.9

Prom.	15	2.45	159.25	69.9	2.28	1.82	1.92	1.315	257.7
-------	----	------	--------	------	------	------	------	-------	-------

### 3. DISEÑO DE LA TURBINA

El benjamín de la familia de las turbinas hidráulicas es la tubular o “ grupos bulbo”, que son turbinas hélice, de eje horizontal, cuyo distribuidor y álabes pueden ser fijos o móviles. Ha sido preciso fabricarlas debido a que las turbinas hélice o las Kaplan clásicas, con cámara espiral y tubo de desfogue acodado, obligaban a instalaciones extremadamente onerosas para caídas muy bajas. Presentan una serie de ventajas sobre las turbinas Kaplan:

- El trazado de las tuberías de entrada al distribuidor de las turbinas tubulares permite obtener una circulación más pequeña a la entrada del rodete, con lo cual se obtiene un rendimiento más elevado.
- El rendimiento de un tubo de desfogue rectilíneo es mejor que el de un tubo de desfogue acodado.
- La potencia específica característica ( potencia de una rueda de 1 m de diámetro, bajo 1 m de caída ) llega hasta 36 c.v. , comparada con el máximo de 27 c.v. para la Kaplan. De lo anterior se deduce que, para las mismas dimensiones, la potencia es mayor; o bien, que para la misma potencia, las dimensiones son menores, con las ventajas consiguientes.

- La economía en la obra civil ( excavaciones, concreto, etc. ) llega al 30 ó 35 % del costo de una planta Kaplan clásica. Así el costo del Kw instalado es inferior en un 15 %. La distancia entre ejes es mucho más reducida, de manera que se pueden colocar aproximadamente doce bulbos donde caben ocho Kaplan.

Por supuesto tienen inconvenientes, entre los que podemos citar:

- Su valor baja cuando la carga aumenta. Actualmente su campo de aplicación se extiende desde las caídas muy bajas hasta las caídas de 15 a 16 m.
- El acceso al interior del bulbo es difícil.
- La reducción del diámetro de rodete y alternador acarrea una débil inercia y un tiempo de arranque global de 1.5 a 2 segundos. Estos grupos no han de ser instalados sobre redes separadas que tengan un coeficiente de autorregulación reducido. Se han de instalar en una red de manera tal que sean otras centrales las que se encarguen de regular las variaciones de frecuencia.

La potencia unitaria de los bulbos está limitada por las posibilidades de enfriamiento del alternador. En las microcentrales, el generador, de 1 m a 1.50 m , se halla sumergido en aceite. Los grupos de gran potencia tienen el interior del bulbo lleno de aire comprimido.

### **3.1 POTENCIA ELECTRICA DE DISEÑO.**

$$P_e = 50 \text{ Kw ( 65 Hp )}$$

### 3.2 RENDIMIENTO TOTAL

$$\eta = \frac{\text{Potencia Eléctrica}}{\text{Potencia Hidráulica}} = 0.80$$

Que compensa las pérdidas hidráulicas, mecánicas y eléctricas de la unidad.

### 3.3 POTENCIA HIDRAULICA

$$P_H = \frac{P_e}{\eta} = \frac{50}{0.80} = 62.5 \text{ Kw}$$

$$P_H = \rho * Q * E_H$$

donde

$\rho$  = Densidad ( Kg / m<sup>3</sup> )

Q = Caudal ( m<sup>3</sup> / sg )

E<sub>H</sub> = Energía Hidráulica ( m<sup>2</sup> / sg<sup>2</sup> )

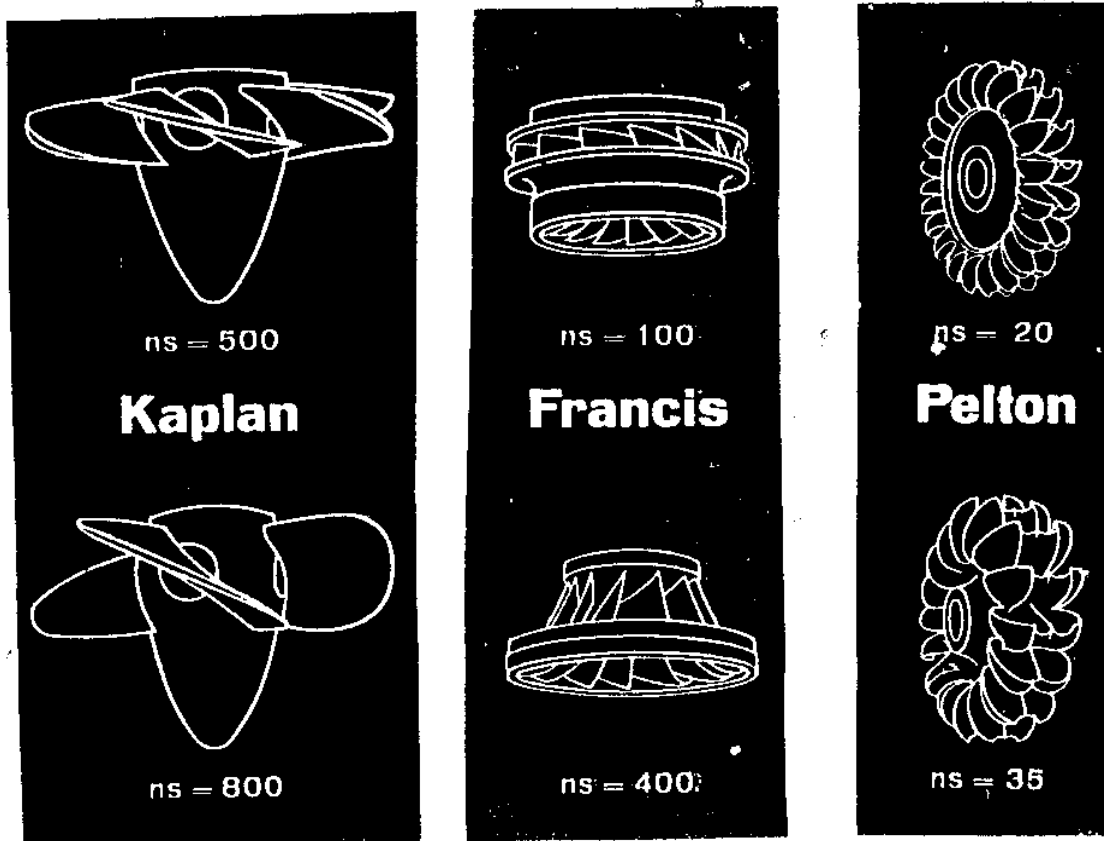
### 3.4 VELOCIDADES DE ENTRADA Y SALIDA DE LA TURBINA

La velocidad específica de una turbina hélice es alta, en virtud de que la carga es pequeña con relación al caudal, el cual, como máquina axial, es muy grande. En el sistema métrico, la velocidad específica práctica llega a variar de  $n_s = 300$  a  $n_s = 1100$ . El número de álabes de una turbina hélice, varía de 4 a 9, correspondiendo a mayor velocidad específica menor número de álabes. El rotor de la turbina, de forma de hélice, está constituido por un robusto cubo, cuyo diámetro es del orden del 40 % al 50 % del diámetro total al extremo de los

álabes, en el cual van empotrados los álabes encargados de efectuar la transferencia de energía del agua al eje de la unidad. Los álabes del rotor tienen perfil de ala de avión y desarrollo helicoidal. El perfil de ala permite obtener una acción útil del agua sobre el álabe en el movimiento que aquella tiene respecto a éste ( Figura 3 ). La forma helicoidal o alabeo se justifica, en virtud de que la velocidad relativa del flujo varía en dirección y magnitud con la distancia al eje de giro, debido a que la velocidad de arrastre (  $U_1 = \omega R_1$  ) se modifica en magnitud con el radio, supuesta  $\omega$  constante, y considerando la velocidad absoluta constante en magnitud y dirección. La ecuación vectorial

$$V_1 = U_1 + V_{r1}$$

debe cumplirse y el triángulo vectorial que materializa a dicha ecuación debe cerrarse siempre. Si para unas condiciones dadas por la magnitud y dirección de  $V_1$  y por la velocidad de giro  $\omega$ , se quiere una incidencia correcta a lo largo del aspa para una máxima acción de la cantidad de movimiento en cada punto de la misma, y máximo momento sobre el eje de giro, conviene que el borde de ataque del álabe corresponda con la dirección que en cada punto exige la velocidad relativa. Ahora bien, si  $V_1$  se modifica en dirección, por ejemplo, manteniendo la misma velocidad de giro,  $V_{r1}$  se modifica en dirección y en magnitud a lo largo del borde del álabe, produciéndose separación o choque contra el álabe. Este hecho se presenta en la regulación de la carga de la turbina por medio del cambio en dirección de la velocidad absoluta.



**Figura 3. Diferentes tipos de Rodetes de Turbinas.**  
 FUENTE: VIEJO ZUBICARAY, Manuel. Energía Hidroeléctrica

El diseño de los álabes suele hacerse para el 80 % de la capacidad de gasto de la turbina, ya que en éstas condiciones se favorece el rendimiento global del álabe en las diferentes condiciones de carga parcial o sobrecarga, en las que con frecuencia se ve obligada a trabajar la máquina. Para las condiciones de diseño la apertura del ángulo del distribuidor

suele ser de  $45^\circ$ , pudiendo variar entre  $20^\circ$  y  $50^\circ$  en términos generales. El alabeo en los bordes de ataque y de fuga se define por los valores de los ángulos  $\beta_1$  y  $\beta_2$ , a lo largo de dichos bordes ( Figura 4 ).

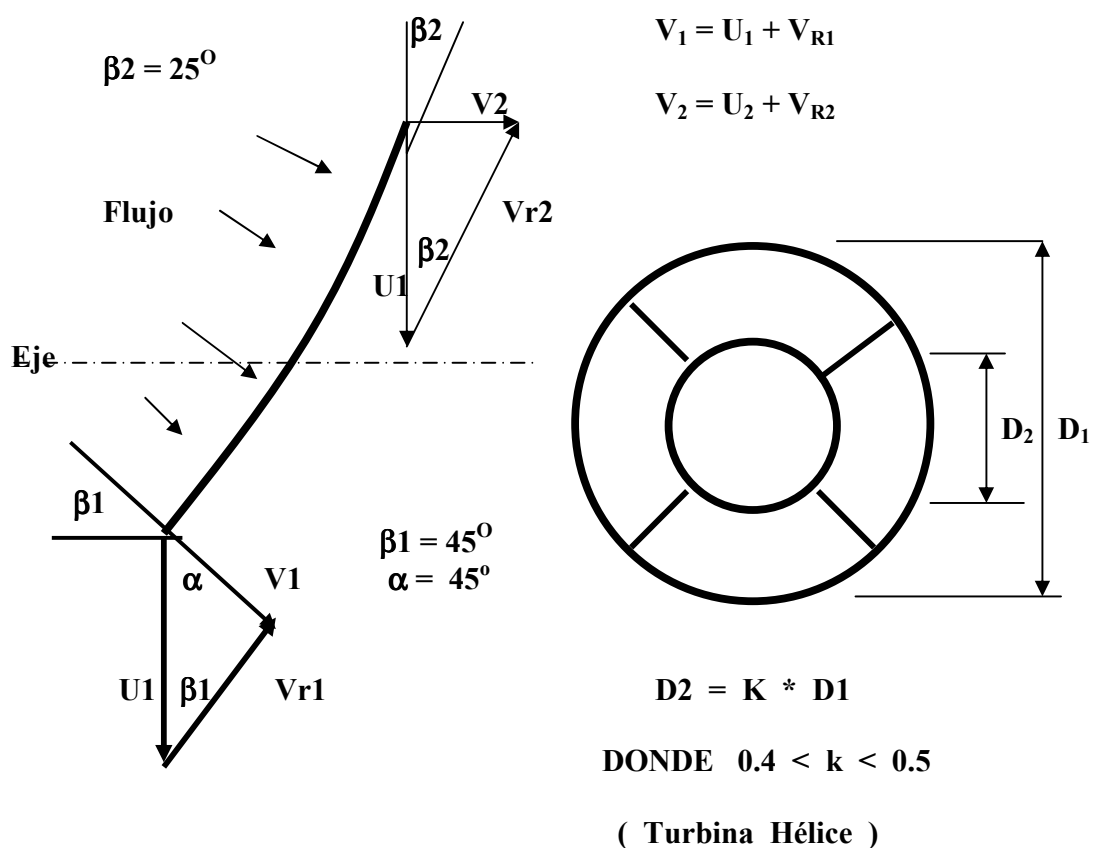


Figura 4. Diagrama de velocidades de la turbina.

De la ecuación de continuidad  $Q = V * A$  tenemos:

$$V_1 = \frac{Q}{A_1}$$

$$A_1 = \frac{\pi (D_1^2 - D_2^2)}{4} = \frac{\pi (D_1^2 - K^2 D_1^2)}{4}$$

$$V_1 = \frac{4 * Q}{\pi (D_1^2 - K^2 D_1^2)}$$

$$V_1 = 1.2732 \frac{Q}{(D_1^2 - K^2 D_1^2)}$$

$$\text{sen } \alpha = \frac{V_2}{V_1} \rightarrow V_2 = V_1 \text{ sen } 45 = 0.7071 V_1$$

$$V_2 = 0.9002 \frac{Q}{(D_1^2 - K^2 D_1^2)}$$

Se cumple que  $V_1 > V_2$

$$\text{Tag } 45 = \frac{V_1}{V_{R1}} \rightarrow V_{R1} = \frac{V_1}{\text{tag } 45} = V_1$$

$$V_{R1} = 1.2732 \frac{Q}{(D_1^2 - K^2 D_1^2)}$$



$$\text{sen } 45 = \frac{V_1}{U} \rightarrow U = \frac{V_1}{\text{sen } 45} = 1.4142 V_1$$

$$U = 1.8006 \frac{Q}{(D_1^2 - k_2^2 D_1^2)}$$

$$\text{tag } \beta_2 = \frac{V_2}{U} \rightarrow \text{tag } \beta_2 = \frac{0.9002}{1.8006} \rightarrow \beta_2 = \text{tag}^{-1} \frac{0.9002}{1.8006} = 26.56$$

$$\text{Sen } \beta_2 = \frac{V_2}{V_{R2}} \rightarrow V_{R2} = \frac{V_2}{\text{sen } \beta_2} = 2.3665 V_2$$

$$V_{R2} = 2.0133 \frac{Q}{(D_1^2 - k_2^2 D_1^2)}$$

Se cumple que  $V_{R2} > V_{R1}$

### 3.5 ENERGIA HIDRAULICA DISPONIBLE

La energía transferida de fluido a rotor, en una turbina, tiene como expresión, bajo la forma de Euler

$$E = 1 / g ( U_1 V_{u1} - U_2 V_{u2} )$$

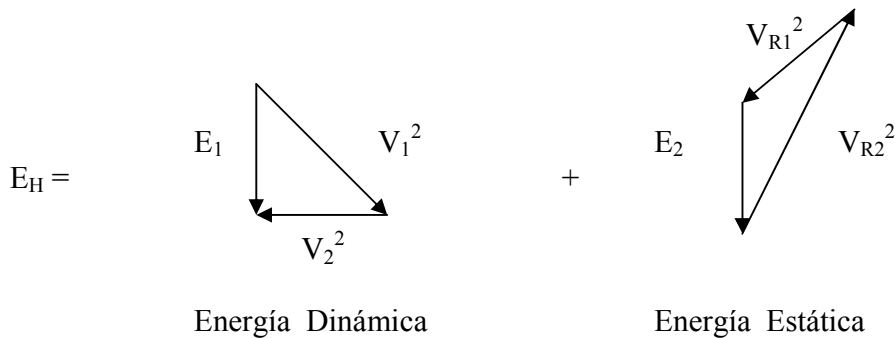
O también

$$H = 1 / g (U_1 Vu_1 - U_2 Vu_2)$$

Si se da H en unidades de longitud, que equivale a considerar la energía por unidad de peso. Expresando la energía transferida bajo la forma de componentes energéticas, en la turbina axial tiene la forma:

$$E_H = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} + \frac{V_{R2}^2 - V_{R1}^2}{2}$$

E. Dinámica                      E. Estática



esto es, desaparece el término de acción centrípeta, ya que la velocidad de arrastre conserva el mismo valor a la salida que a la entrada, pues no hay traslación radial del agua durante el paso de ésta por el rotor, sino solamente axial, lo que justifica su nombre. También se puede sustituir E por H, expresando H en metros y considerando la energía por unidad de peso. La carga dinámica viene representada por el primer término del segundo miembro, la carga estática, aprovechada por la máquina, queda reducida en este caso al cambio

energético debido a la velocidad relativa del fluido, manifiesta por un efecto acelerativo del agua a lo largo del ducto entre los álabes del rotor.

### 3.6 CAUDAL DISPONIBLE EN FUNCION DE LA POTENCIA HIDRAULICA

$$E_H = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} + \frac{V_{R2}^2 - V_{R1}^2}{2}$$

$$E_H = \frac{\left[ 1.2732 \frac{Q}{(D_1^2 - k^2 D_1^2)} \right]^2 - \left[ 0.9002 \frac{Q}{(D_1^2 - k^2 D_1^2)} \right]^2}{2} +$$

$$\frac{\left[ 2.0133 \frac{Q}{(D_1^2 - k^2 D_1^2)} \right]^2 - \left[ 1.2732 \frac{Q}{(D_1^2 - k^2 D_1^2)} \right]^2}{2}$$

$$E_H = \frac{1.6210 Q^2 - 0.8104 Q^2}{2 (D_1^2 - k^2 D_1^2)^2} + \frac{4.0534 Q^2 - 1.6210 Q^2}{2 (D_1^2 - k^2 D_1^2)^2}$$

$$E_H = \frac{0.8106 Q^2}{2 (D_1^2 - k^2 D_1^2)^2} + \frac{2.4324 Q^2}{2 (D_1^2 - k^2 D_1^2)^2}$$

$$E_H = \frac{3.243 Q^2}{2 (D_1^2 - k^2 D_1^2)^2} \text{ [ m}^2/\text{s}^2 \text{ ]}$$

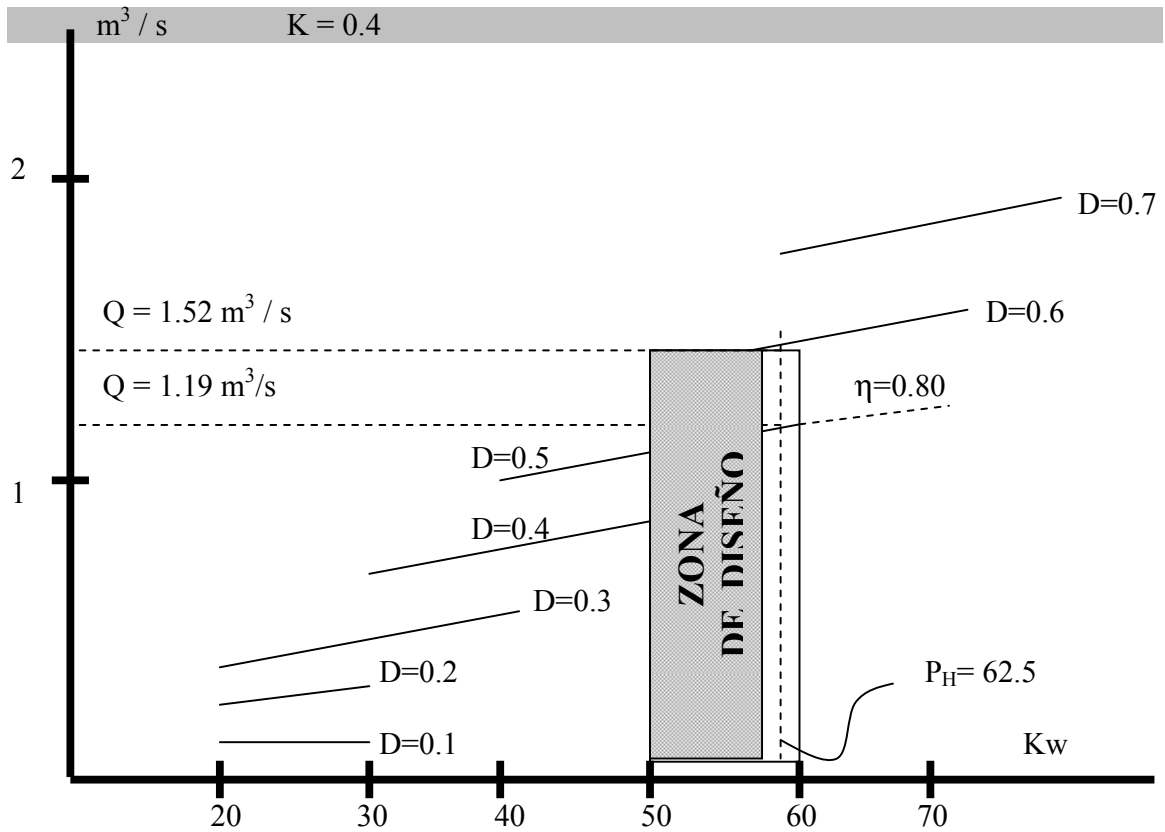
$$\frac{P_H}{\rho} = \frac{3.243 Q^3}{2 (D_1^2 - k^2 D_1^2)^2}$$

$$Q = \left[ \frac{2 (D_1^2 - k^2 D_1^2)^2 \times P_H}{3.243 \times \rho} \right]^{1/3} \quad [m^3 / s]$$

Iterando valores de la ecuación anterior obtenemos la tabla 2, para obtener valores de Q en función de P<sub>H</sub>. Para diferentes valores del diámetro de la turbina tenemos:

**Cuadro 2. Caudal en función de la Potencia Hidráulica.**

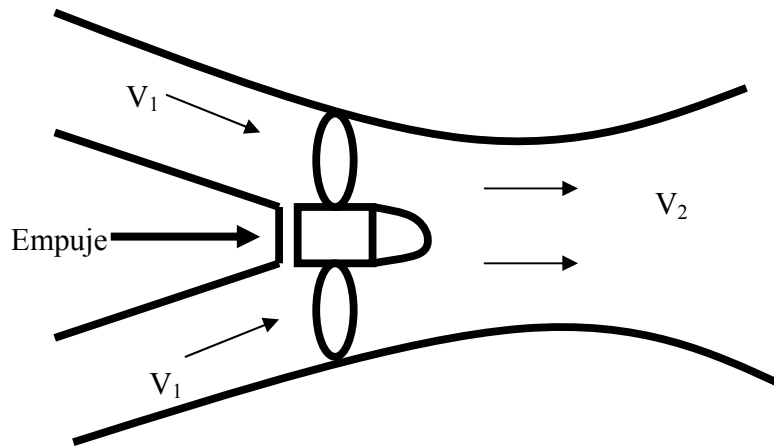
	<b>Dt</b>	<b>K= 0.4</b>	<b>K= 0.45</b>	<b>K= 0.5</b>
<b>20 Kw</b>	0.1	0.10	0.09	0.09
	0.2	0.24	0.23	0.22
	0.3	0.41	0.40	0.38
<b>30 Kw</b>	0.2	0.28	0.27	0.26
	0.3	0.47	0.46	0.44
	0.4	0.69	0.67	0.64
<b>40 Kw</b>	0.3	0.52	0.50	0.48
	0.4	0.76	0.74	0.71
	0.5	1.03	0.99	0.95
<b>50 Kw</b>	0.4	0.82	0.79	0.76
	0.5	1.11	1.07	1.03
	0.6	1.41	1.36	1.31
<b>60 Kw</b>	0.5	1.18	1.14	1.09
	0.6	1.50	1.45	1.39
	0.7	1.84	1.78	1.71
<b>70 Kw</b>	0.6	1.58	1.53	1.47
	0.7	1.94	1.88	1.80
	0.8	2.32	2.24	2.15



**Figura 5. Gráfica de Potencia Hidráulica contra Caudal.**

### 3.7 EMPUJE AXIAL

La acción de una hélice es el cambiar la cantidad de movimiento del fluido en el cual está sumergida y así desarrollar un empuje que se usa para propulsión, bombeo y generación de Potencia. Las hélices no se pueden diseñar según la teoría de la cantidad de movimiento, aunque algunas de las relaciones que las gobiernan son evidentes por su aplicación. En la figura 6, se muestra una hélice con sus distribuciones de fuerza y velocidad.



**Figura 6. Distribuciones de fuerza y velocidad de la turbina.**

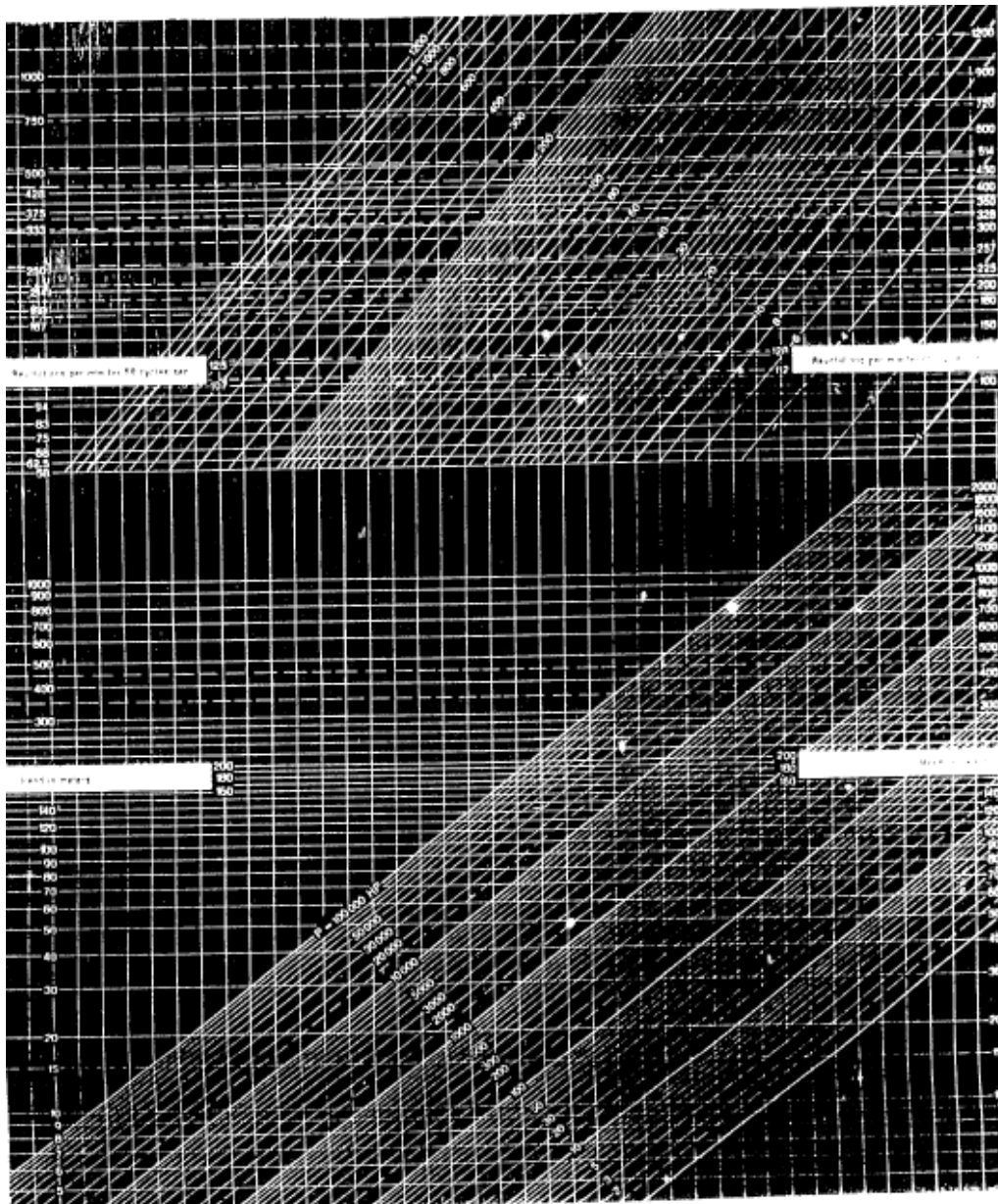
El empuje axial se deduce de la ecuación de cantidad de movimiento y se expresa así:

$$\text{Empuje} = \rho Q (V_1 - V_2) \quad \text{donde}$$

$\rho$ :	Densidad del agua
$Q$ :	Caudal que pasa por la unidad
$V_1$ :	Velocidad a la entrada de la turbina
$V_2$ :	Velocidad a la salida de la turbina

### 3.8 SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE LA TURBINA

Las turbinas de agua axiales, son de alta velocidad específica, lo que caracteriza a estas máquinas para ser empleadas en saltos de agua de gran caudal y pequeñas cargas ( Figura 7 ). Los álabes del rotor de toda turbina de hélice tienen muy poco espesor con relación a su gran tamaño, evitándose en todo momento formas redondeadas que produzcan aceleraciones locales que propicien la cavitación.



**Figura 7. Gráfica para la determinación de la velocidad específica.**  
**FUENTE: VIEJO ZUBICARAY, Manuel. Energía Hidroeléctrica.**

Es por esto, que las aristas de ataque se presentan relativamente agudas y que la curvatura del álabe es pequeña, lo que reduce la transferencia, ya que  $V_{r2}$  no puede hacerse mucho más grande que  $V_{r1}$ , limitándose la aplicación a pequeñas cargas.

Datos suministrados:

$$P_H = \frac{P_{ELEC}}{\eta} = \frac{50 \text{ kW}}{0.80} = 62.5 \text{ kW}$$

El diámetro de la turbina debe ser como mínimo el equivalente al diámetro del Generador seleccionado para determinada Potencia, que según las normas NEMA MG1 1998, un Generador de 50 Kw a 1800 RPM tiene un diámetro exterior de 18 plg ( 0.457 m ).

En la gráfica  $P_H$  Vs  $Q$  la potencia de 62.5 Kw, intersecta la curva del diámetro  $D = 0.5$  m en la zona optima de selección, requiriendo esta turbina un caudal mínimo de  $1.19 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Algunos constructores Americanos utilizan la fórmula empírica:

$$D = \sqrt{\frac{68 \text{ HP}}{H}} \quad \text{donde} \quad \begin{array}{l} D = \text{plg} \\ H = \text{ft} \end{array}$$

$$E_H = \frac{3.243 Q^2}{2 (D_1^2 - k_2^2 D_1^2)^2} = \frac{3.243 (1.19)^2}{2 (0.5^2 - 0.4^2 \times 0.5^2)^2}$$

$$E_H = 52.07 \text{ m}^2/\text{s}^2 \quad \rightarrow \quad H = \frac{E_H}{g} = \frac{52.07 \text{ m}^2/\text{s}^2}{9.8 \text{ m}/\text{s}^2} = 5.31 \text{ m} \approx 17.43 \text{ ft}$$



$$P = 62.5 \text{ Kw} \times \frac{\text{HP}}{0.746 \text{ Kw}} = 83.78 \text{ HP}$$

$$D = \sqrt{\frac{68 ( 83.78 )}{17.43}} = 18.08 \text{ plg} \approx 0.46 \text{ m}$$

Esto nos dice que la gráfica de selección para turbinas axiales es confiable a partir de los 30 Kw de Potencia Hidráulica.

### 3.9 VELOCIDAD DE ROTACION

$$U = 1.8006 \frac{Q}{(D_1^2 - K^2 D_1^2)} = 1.8006 \frac{1.19}{(0.5^2 - 0.4^2 \times 0.5^2)}$$

$$U = 10.2 \text{ m/s}$$

$$U = \frac{\pi D n}{60} \rightarrow n = \frac{60 U}{\pi D} = \frac{60 ( 10.2 )}{\pi ( 0.5 )}$$

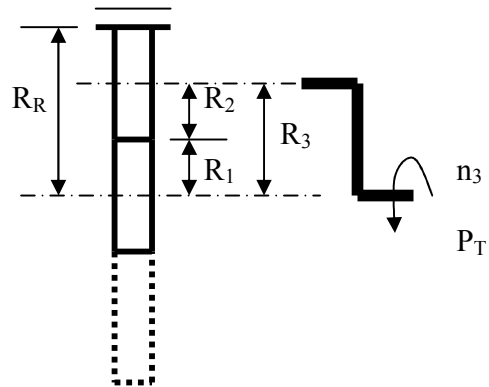
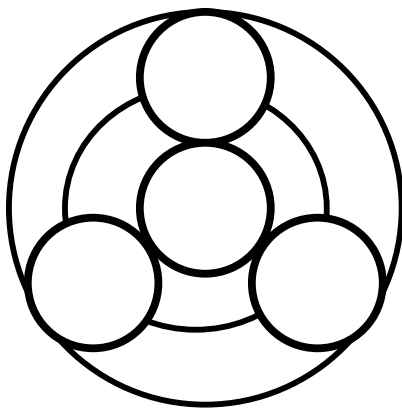
$$n = 389.61 \text{ RPM} \approx 380 \text{ RPM}$$

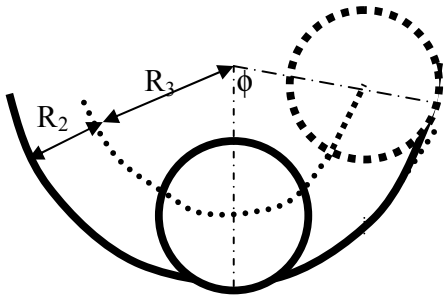
La velocidad rotacional de la turbina se fija en 380 RPM.

#### 4. DISEÑO DEL MULTIPLICADOR DE VELOCIDAD

Un sistema de transmisión sencillo a engranajes planetarios se compone de tres partes principales que son, un miembro fijo, un miembro impulsor y el miembro impulsado. La eficiencia de este método de transmisión depende de las cargas que tienen que soportar los dientes y de la velocidad de los elementos dentados. El producto de la carga aplicada a los dientes y la velocidad del movimiento engranante, proporcionan una medida equivalente de la potencia que se transmite por el engranaje. Por lo general la potencia equivalente que se transmite es menor que la potencia que en realidad se está transmitiendo.

##### 4.1 ANALISIS CINEMATICO

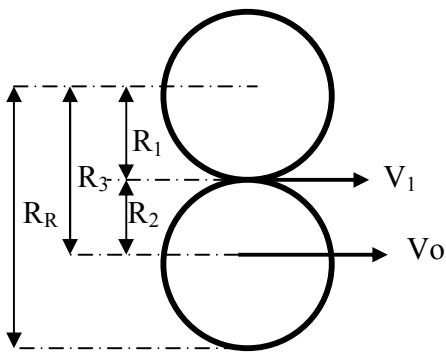




$$L_R = \overline{OO'}$$

$$V_0 = W_2 * R_2 = W_3 * R_3$$

$$n_2 * R_2 = n_3 * R_3$$



$$V_1 = V_0 + V_{1/o}$$

$$W_1 * R_1 = W_2 * R_2 + W_3 * R_3$$

$$W_1 * R_1 = (R_3/R_2) * R_2 * W_3 + W_3 * R_3$$

$$W_1 * R_1 = W_3 * R_3 + W_3 * R_3$$

**Figura 8. Diagrama de cuerpo libre del Multiplicador de Velocidades.**

$$R_3 = R_R - R_2 = R_1 + R_2$$

$$W_1 * R_1 = W_3 (R_R - R_2) + W_3 (R_1 + R_2)$$

$$\frac{W_1}{W_3} = \frac{R_R + R_1}{R_1} = \frac{R_R}{R_1} + 1 = \frac{n_1}{n_3}$$

$$m_G = \frac{n_1}{n_3} = \frac{D_R}{D_1} + 1$$

Para que exista intercambiabilidad el módulo o paso diametral debe ser igual en todos los engranajes.

$$D_p = \frac{N}{Pd}$$

$$m_G = \frac{\frac{N_R}{Pd}}{\frac{N_1}{Pd}} + 1 = \frac{N_R}{N_1} + 1$$

#### 4.1.1 Relación de Velocidad $m_G$

$$m_G = \frac{n_1}{n_3} = \frac{D_R}{D_1} + 1 = \frac{N_R}{N_1} + 1$$

#### 4.1.2 Dimensiones para ensamblar:

$$\begin{aligned} D_R &= D_1 + 2 D_2 \\ N_R &= N_1 + 2 N_2 \end{aligned} \quad \rightarrow \quad \frac{N_R + N_1}{\text{No. Satelites}} = \text{Número Entero}$$

Con el propósito de reducir el contacto permanente entre parejas de dientes se asume:

$$D_1 = 104 \text{ mm} \quad ; \quad N_1 = 26 \quad ; \quad \text{Módulo ( m )} = 4$$

$$D_2 = 136 \text{ mm} \quad ; \quad N_2 = 34 \quad ; \quad \text{Módulo ( m )} = 4$$

$$D_R = 376 \text{ mm} \quad ; \quad N_R = 94 \quad ; \quad \text{Módulo ( m )} = 4$$

$$m_G = \frac{n_1}{n_3} = \frac{N_R}{N_1} + 1$$

$$m_G = \frac{94}{26} + 1 = 4.62$$

$$\frac{N_R + N_1}{\text{No. Satelites}} = \frac{94 + 26}{3} = \frac{120}{3} = 40 = \text{Número Entero}$$

## 4.2 EFICIENCIAS

### 4.2.1 Eficiencia Eléctrica.

Potencia Eléctrica producida (  $P_{elec} = 50 \text{ Kw}$  )

Rendimiento Eléctrico  $\eta_{elec} = 96 \%$

Potencia transmitida por el multiplicador  $P_m = \frac{P_{elec}}{\eta_{elec}}$

$$P_m = 52.1 \text{ Kw}$$

### 4.2.2 Eficiencia Mecánica.

Potencia transmitida por el multiplicador  $P_m = 52.1 \text{ Kw}$

Rendimiento del multiplicador  $\eta_m = 92 \%$

$$\text{Potencia transmitida por la turbina } P_t = \frac{P_m}{\eta_m}$$

$$P_t = 56.6 \text{ Kw}$$

### 4.3 DISEÑO DE LOS PLANETARIOS

#### 4.3.1 Fuerza centrífuga.

$$W_{cf} = \frac{m V^2}{R}$$

$$W_{cf} = \frac{m(\pi \times 2R \times n)^2}{60^2 R}$$

$$W_{cf} = \frac{m(\pi^2 \times 4R^2 \times n^2)}{60^2 R} = \frac{m \times \pi^2 \times 4R \times n^2}{60^2}$$

$$W_{cf} = \frac{\gamma \pi D_p^2 b \pi^2 \times 4R \times n^2}{g \cdot 4 \cdot 60^2}$$

$$W_{cf} = \frac{\gamma \pi^3 D_p^2 b R n^2}{60^2 g}$$

$$W_{cf} = \frac{\gamma D_p^2 b R n^2}{1140} \quad [N] \quad \text{donde}$$

- $\gamma$  = Peso Especifico  $N/m^3$
- $D_p$  = Diámetro Primitivo m
- $b$  = Ancho de Cara m
- $R$  = Radio del Anillo m
- $n$  = Velocidad del Anillo rpm

La fuerza transmitida por los planetarios al engrane solar, es contrarrestada por cada uno de ellos entre sí, por lo tanto la prueba de los rodamientos se hará para los planetarios.

$$\text{Peso Específico Hierro Fundido ASTM 20 } (\gamma) = 71540 \text{ N / m}^3$$

$$\text{Diámetro Primitivo } (D_p) = 136 \text{ mm} \cong 0.136 \text{ m}$$

$$\text{Ancho de Cara } (b) = 5 \text{ cm} \cong 0.05 \text{ m}$$

$$\text{Radio de operación del disco } (R) = 120 \text{ mm} \cong 0.12 \text{ m}$$

$$\text{Velocidad del Disco } (n) = 380 \text{ rpm}$$

$$W_{cf} = \frac{71540 \times 0.136^2 \times 0.05 \times 0.120 \times 380^2}{1140} = 1005.6 \text{ N}$$

#### 4.3.2 Fuerza transmitida por los planetarios.

$$n_2 D_2 = n_3 D_3$$

Del análisis hidráulico en el diseño de la turbina se obtuvo que  $n_3 = 380 \text{ rpm}$ .

$$n_2 = n_3 \left( \frac{D_3}{D_2} \right) = 380 \left( \frac{240}{136} \right) = 670 \text{ RPM}$$

$$m_G = \frac{n_1}{n_3} = 4.62 \quad \rightarrow \quad n_1 = 4.62 \times 380 \text{ rpm} = 1755 \text{ rpm}$$

$$Kw = \frac{F_t D_p n}{1.95 \times 10^6} \quad \text{donde} \quad \begin{array}{l} F_t = \text{Fuerza transmitida, Kg} \\ D_p = \text{Diámetro primitivo, mm} \\ n = \text{Velocidad, rpm} \end{array}$$

$$F_t = \frac{1.95 \times 10^6 (Kw)}{\text{No. Satelites} \times D_p \times n}$$

La fuerza transmitida por los dientes de cada engrane es:

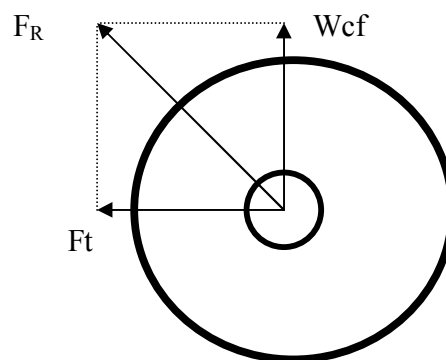
$$F_t = \frac{1.95 \times 10^6 (Kw)}{\text{No. Satelites} \times D_p \times n} = \frac{1.95 \times 10^6 (60 Kw)}{3 \times 136 \times 670} = 428 \text{ Kg.}$$

#### 4.3.3 Fuerza resultante sobre los ejes planetarios.

$$F_R = \sqrt{F_t^2 + W_{cf}^2}$$

$$F_R = \sqrt{4194.4^2 + 1005.6^2}$$

$$F_R = 4313.26 \text{ N}$$



**Figura 9. Diagrama de Cuerpo Libre – Planetarios.**



4.3.4 **Cálculo de los ejes – Criterio A.S.M.E.** Según la American Society of Mechanical Engineering ( A.S.M.E. ):

$$d = \left\{ \frac{32 n}{\pi} \left[ \left( \frac{K_f * Ma}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

Factor de seguridad ( n ) = 1.5

Factor de concentración de esfuerzos a la fatiga ( Kf ) = 1.6

Momento flector alternante ( Ma ) = F<sub>R</sub> x L

Longitud del eje flexionado ( L ) = 0.05 m

Ma = 4313.26 N \* 0.05 m = 215.67 N.m

Torque Medio ( Tm ) = Ft x Dp / 2

Tm = 4194.4 x 0.136 / 2 = 285.2 N.m

Límite de resistencia a la fatiga S<sub>e</sub>

S<sub>e</sub> = K<sub>a</sub> \* K<sub>b</sub> \* K<sub>c</sub> \* K<sub>d</sub> \* K<sub>e</sub> \* S'<sub>e</sub>

Seleccionamos Hierro Fundido ASTM 20

S<sub>ut</sub> = 151.69 Mpa ; S<sub>y</sub> = 96.53 Mpa ; S<sub>e</sub> = 68.95 Mpa

$$\text{Factor de superficie ( } K_a \text{ )} = a S_{ut}^b \quad [ \quad \begin{array}{l} a = 4.51 \\ b = -0.265 \end{array} \quad \text{Maquinado}$$

$$K_a = 4.51 ( 151.69 )^{-0.265} = 1.1918$$

$$\text{Factor de Tamaño ( } K_b \text{ )} = ( d_e / 7.62 )^{-0.1133} = 1.7674$$

$$\text{Factor de Carga ( } K_c \text{ ) Torsión y Cortante} = 0.577$$

$$\text{Factor de temperatura ( } K_d \text{ )} = 1$$

$$\text{Factor de concentración de esfuerzos ( } K_e \text{ )}$$

$$K_e = \frac{1}{K_f} = \frac{1}{1.6} = 0.625$$

$$S'_e = 0.504 ( 151.69 ) = 76.45 \text{ Mpa}$$

$$S_e = 1.1918 \times 1.7674 \times 0.577 \times 1 \times 0.625 \times 76.45 \text{ Mpa} = 58 \text{ Mpa}$$

$$d = \left\{ \frac{32 ( 1.5 )}{\pi} \left[ \left( \frac{1.6 \times 215.67}{58 \times 10^6} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{285.2}{96.53 \times 10^6} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = 46.25 \text{ mm}$$

Diámetro mínimo de los ejes planetarios en el sector donde se instale el engranaje planetario.

#### 4.3.5 Proyecto de los rodamientos planetarios.

$$L_{10h} = \frac{1000000}{60 n} \left( \frac{C}{P} \right)^P$$

$L_{10h}$  = Horas de duración

$C$  = Capacidad de carga dinámica, N

$P$  = Carga dinámica equivalente, N

$P$  = 3, Rodamientos de bolas – 10/3, Rodamientos de rodillos.

**Cuadro 3. Guía para los valores de la duración  $L_{10h}$  de rodamientos.**

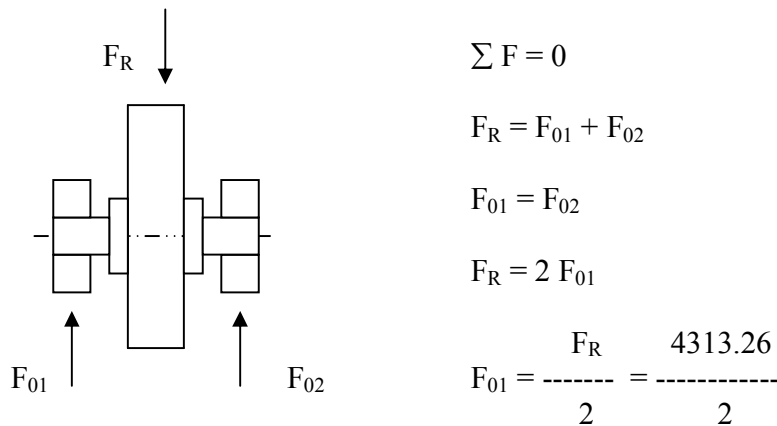
Clase de máquina	$L_{10h}$ Horas de servicio
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, aparatos técnicos para uso médico	300 a 3000
Máquinas de uso intermitente o por cortos períodos, máquinas herramientas portátiles, aparatos elevadores en talleres, máquinas para la construcción	3000 a 8000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento durante cortos períodos o intermitentemente, ascensores, grúas para mercancías embaladas	8000 a 12000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario no totalmente utilizadas, transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos para uso industrial, machacadoras giratorias	10000 a 25000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas, máquinas herramientas, máquinas para trabajar madera, máquinas	20000 a 30000

para la industria mecánica general, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de imprimir, centrífugas y separadoras	
Máquinas para trabajo continuo, 24 horas al día, cajas de engranajes para laminadoras, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40000 a 50000
Máquinas para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas cableadoras, maquinaria propulsora para trasatlánticos	60000 a 10000

FUENTE: SKF. Manual de Mantenimiento y Recambio de Rodamientos

$L_{10h} = 10000 \cong 417 \text{ días} \cong 1.15 \text{ años.}$

$$\frac{C}{P} = \left[ \frac{60 n L_{10h}}{1000000} \right]^{1/p} \quad \begin{array}{l} n = 670 \text{ rpm} \\ p = 3, \text{ Rodamientos de bolas} \end{array}$$



**Figura 10. Diagrama de Cuerpo Libre – Rodamientos Planetarios.**

$F_{01} = 2156.63 \text{ N}$  ( Fuerza en el Rodamiento ).

$$\frac{C}{P} \geq \left[ \frac{60 \times 670 \times 10000}{1000000} \right]^{1/3} \geq 7.38$$

Carga de seguridad  $K_e$

$$K_e = f_k \times f_d \times K \rightarrow K = F_{01} \text{ ( Fuerza en el rodamiento )}.$$

$f_k = 1.2$  ; Ruedas dentadas normales de errores de paso y perfil de 0.02 a 0.1 mm.

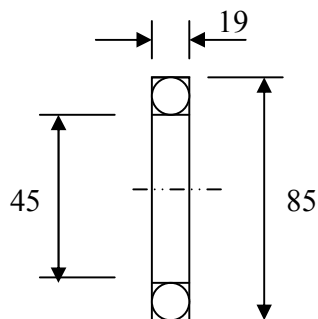
$f_d = 1.2$  ; Máquinas que trabajan sin cargas de choque, como máquinas eléctricas y turbinas.

$$K_e = 1.2 \times 1.2 \times 2156.63 \text{ N} = 3105.54 \text{ N}$$

$$K_e = P = 3105.54 \text{ N}$$

$$C \geq 7.38 ( 3105.54 \text{ N} ) = 22918.93 \text{ N}$$

Se selecciona un rodamiento 6209 – 2z ó 6209 – 2RS, que es un Rodamiento Rígido de Bolas, con doble placa de protección ó de obturación ( Tabla 3 ).



$$C = 25500 \text{ N}$$

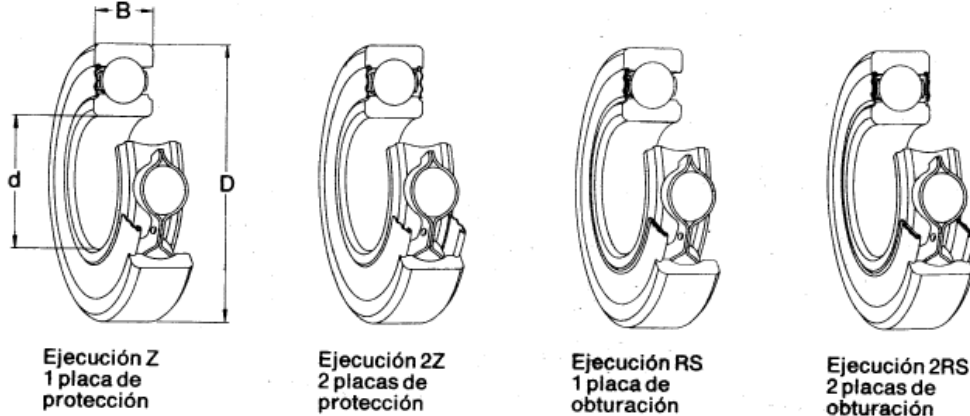
$$C_o = 18600 \text{ N}$$

Límite de velocidad = 7500 rpm Grasa  
9000 rpm Aceite

$$\text{Masa} = 0.41 \text{ Kg}$$

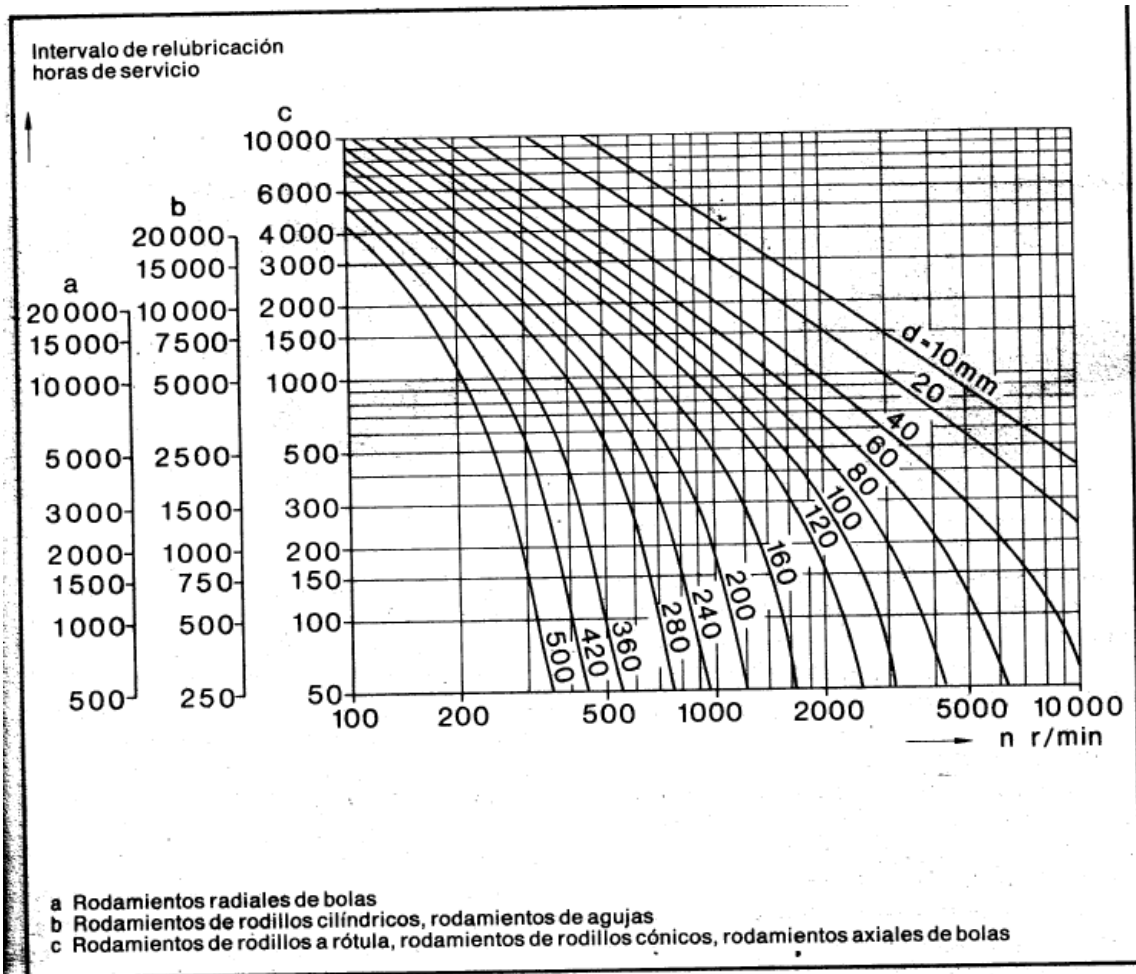
**Figura 11. Dimensiones de los Rodamientos Planetarios.**

**Cuadro 4. Rodamientos Rígidos de Bolas con placas de protección.**



Dimensiones principales			Capacidad de carga		Límite de velocidad			Masa	Designaciones			
d	D	B	C	estát. C <sub>0</sub>	Ejecución Z, 2Z	Z	RS, 2RS	kg	Ejecución Z	2Z	RS	2RS
mm			N (1 N = 0,102 kgf)		r/min				—			
40	68	15	12 900	9 300	9 500	12 000	6 300	0,19	6008-Z	6008-2Z	6008-RS	6008-2RS
	80	18	23 600	16 600	8 500	10 000	5 600	0,37	6208-Z	6208-2Z	6208-RS	6208-2RS
	90	23	31 500	22 400	7 500	9 000	5 000	0,63	6308-Z	6308-2Z	6308-RS	6308-2RS
45	75	16	16 300	12 200	9 000	11 000	5 600	0,25	6009-Z	6009-2Z	6009-RS	6009-2RS
	85	19	25 500	18 600	7 500	9 000	5 000	0,41	6209-Z	6209-2Z	6209-RS	6209-2RS
	100	25	40 500	30 000	6 700	8 000	4 500	0,83	6309-Z	6309-2Z	6309-RS	6309-2RS
50	80	16	16 600	13 200	8 500	10 000	5 000	0,26	6010-Z	6010-2Z	6010-RS	6010-2RS
	90	20	27 000	19 600	7 000	8 500	4 800	0,46	6210-Z	6210-2Z	6210-RS	6210-2RS
	110	27	47 500	36 000	6 300	7 500	4 300	1,05	6310-Z	6310-2Z	6310-RS	6310-2RS
55	90	18	21 600	17 000	7 500	9 000	4 500	0,39	6011-Z	6011-2Z	6011-RS	6011-2RS
	100	21	33 500	25 000	6 300	7 500	4 300	0,61	6211-Z	6211-2Z	6211-RS	6211-2RS
	120	29	55 000	41 500	5 600	6 700	3 800	1,35	6311-Z	6311-2Z	6311-RS	6311-2RS
60	95	18	22 800	18 300	6 700	8 000	4 300	0,42	6012-Z	6012-2Z	6012-RS	6012-2RS
	110	22	36 500	28 000	6 000	7 000	4 000	0,78	6212-Z	6212-2Z	6212-RS	6212-2RS
	130	31	63 000	48 000	5 000	6 000	3 400	1,70	6312-Z	6312-2Z	6312-RS	6312-2RS
65	100	18	23 600	19 600	6 300	7 500	4 000	0,44	6013-Z	6013-2Z	6013-RS	6013-2RS
	120	23	43 000	34 000	5 300	6 300	3 600	0,99	6213-Z	6213-2Z	6213-RS	6213-2RS
	140	33	71 000	56 000	4 800	5 600	3 200	2,10	6313-Z	6313-2Z	6313-RS	6313-2RS
70	110	20	29 000	24 500	6 000	7 000	3 600	0,60	6014-Z	6014-2Z	6014-RS	6014-2RS
	125	24	47 500	37 500	5 000	6 000	3 400	1,10	6214-Z	6214-2Z	6214-RS	6214-2RS
	150	35	80 000	63 000	4 500	5 300	3 000	2,50	6314-Z	6314-2Z	6314-RS	6314-2RS
75	115	20	30 500	26 000	5 600	6 700	3 400	0,64	6015-Z	6015-2Z	6015-RS	6015-2RS
	130	25	51 000	40 500	4 800	5 600	3 200	1,20	6215-Z	6215-2Z	6215-RS	6215-2RS
	160	37	86 500	72 000	4 300	5 000	2 800	3,00	6315-Z	6315-2Z	6315-RS	6315-2RS

FUENTE: SKF. Manual de Mantenimiento y Recambio de Rodamientos



**Figura 12. Intervalos de Relubricación para Rodamientos.**

FUENTE: SKF. Manual de Mantenimiento y Recambio de Rodamientos

Para este diámetro y número de revoluciones, la SKF recomienda la relubricación del rodamiento después de las 20000 Hrs de servicio ( Figura 9 ). Este tiempo es mucho mayor que el proyectado para la vida útil del rodamiento dentro de la unidad. Por lo tanto la relubricación de los rodamientos queda fuera del programa anual de mantenimiento.

#### 4.4 CALCULOS DE RESISTENCIA - METODO A.G.M.A.

##### 4.4.1 Coeficientes de Diseño A.G.M.A.

##### 4.4.1.1 Coeficiente Elástico Cp

**Cuadro 5. Coeficiente Elástico Cp.**

MATERIAL DEL PIÑON	MODULO DE ELASTICIDAD DEL PIÑON Ep Lb/in <sup>2</sup> (Mpa)	MATERIAL Y MODULO DE ELASTICIDAD DEL ENGRANE Eg, Lb/in <sup>2</sup> (Mpa)					
		ACERO 30 X 10 <sup>6</sup> (2 X 10 <sup>5</sup> )	HIERRO MALEABLE 25 X 10 <sup>6</sup> (1.7 X 10 <sup>5</sup> )	HIERRO NODULAR 24 X 10 <sup>6</sup> (1.7 X 10 <sup>5</sup> )	HIERRO FUNDIDO 22 X 10 <sup>6</sup> (1.5 X 10 <sup>5</sup> )	BRONCE DE ALUMINIO 17.5 X 10 <sup>6</sup> (1.2 X 10 <sup>5</sup> )	BRONCE DE ESTAÑO 16 X 10 <sup>6</sup> (1.1 X 10 <sup>5</sup> )
<b>Acero</b>	30 X 10 <sup>6</sup> (2 X 10 <sup>5</sup> )	2300 (191)	2180 (181)	2160 (179)	2100 (174)	1950 (162)	1900 (158)
<b>Hierro maleable</b>	25 X 10 <sup>6</sup> (1.7 X 10 <sup>5</sup> )	2180 (181)	2090 (174)	2070 (172)	2020 (168)	1900 (158)	1850 (154)
<b>Hierro nodular</b>	24 X 10 <sup>6</sup> (1.7 X 10 <sup>5</sup> )	2160 (179)	2070 (172)	2050 (170)	2000 (166)	1880 (156)	1830 (152)
<b>Hierro fundido</b>	22 X 10 <sup>6</sup> (1.5 X 10 <sup>5</sup> )	2100 (174)	2020 (168)	2000 (166)	1960 (163)	1850 (154)	1800 (149)
<b>Bronce de aluminio</b>	17.5 X 10 <sup>6</sup> (1.2 X 10 <sup>5</sup> )	1950 (162)	1900 (158)	1880 (156)	1850 (154)	1750 (145)	1700 (141)
<b>Bronce de estaño</b>	16 X 10 <sup>6</sup> (1.1 X 10 <sup>5</sup> )	1900 (158)	1850 (154)	1830 (152)	1800 (149)	1700 (141)	1650 (137)

FUENTE: SHIGLEY, Joseph. Diseño en Ingeniería Mecánica.

Cp = 163 Hierro Fundido – Hierro Fundido.



#### 4.4.1.2 Factores de Sobrecarga Co, Ko

**Cuadro 6. Factores de Sobrecarga Co**

Fuente de Potencia	Carácter de la carga en la máquina impulsada		
	Uniforme	Choques Moderados	Choques intensos
<b>Uniforme</b>	1.00	1.25	1.75
<b>Choques ligeros</b>	1.25	1.50	2.00
<b>Choques medianos</b>	1.50	1.75	2.25

FUENTE: SHIGLEY, Joseph. Diseño en Ingeniería Mecánica.

**Cuadro 7. Factores de Servicio para Transmisiones.**

Aplicación	10 hr de servicio	24 hr de servicio	Aplicación	10 hr de servicio	24 hr de servicio
Agitadores para:			Ventiladores para torres de enfriamiento	1.25	1.50
Cuerpos únicamente líquidos	1.00	1.25	Alimentadores de banda	1.25	1.50
Líquidos con sólidos	1.25	1.5	Alimentadores de gusano	1.25	1.50
Líquidos de densidad variable	1.25	1.5	Máquinas herramienta:		
Sopladores:			Transmisiones auxiliares	1.00	1.25
Centrífugos	1.00	1.25	Transmisiones principales	1.25	1.50
De lóbulo	1.25	1.50	Molinos rotatorios	1.25	1.50
De paletas	1.00	1.25	Hornos	1.25	1.50
Compresores:			Molinos de tambor	1.75	1.75
Centrífugos	1.00	1.25	Bombas:		
Rotatorios, de lóbulo	1.25	1.50	Centrífugas	1.00	1.25
Recíprocas:			Dosificadoras	1.25	1.50
Monocilíndricas	1.75	1.75	Recíprocas	1.25	1.50
Multicilíndricas	1.25	1.50	Cribadoras o tamizadoras	1.25	1.50
Transportadores uniformes	1.00	1.25	Lavadoras de aire	1.00	1.25
Transportadores intermitentes	1.25	1.50	Montacargas	1.25	1.50
Transportadores recíprocos	1.75	1.75	Ventiladores centrífugos	1.00	1.25
Quebradoras	1.75	1.75	Ventiladores axiales	1.00	1.25
Elevadores	1.00	1.25			
Escaleras mecánicas	1.00	1.50			

FUENTE: DARLE W., Dudley. Manual de Engranajes

El factor de sobrecarga permite un margen para la aspereza o suavidad tanto del elemento impulsor como del impulsado. Factores de sobrecarga específicos pueden ser establecidos únicamente después de considerable experiencia práctica en una aplicación particular ( Tabla 5 ). Los factores de servicio han sido establecidos donde se dispone de datos prácticos para aplicaciones específicas. Estos factores de servicio incluyen no únicamente el factor de sobrecarga, sino también el factor de vida útil y el de seguridad. Los factores de servicio para muchas aplicaciones están en las listas de los estándares AGMA y se les usa invariablemente en cuanto sea posible su aplicación ( Tabla 6 ).

Fuente de Potencia = Choques ligeros.

Carácter de la carga en la máquina impulsada = Uniforme

$$C_o = K_o = 1.25$$

**4.4.1.3 Factores Dinámicos  $C_v, K_v$ .** Las clasificaciones de calidad AGMA 8 a 12 pertenecen a la categoría de precisión. Estos engranes son cortados o tallados con equipo de precisión, en donde los dientes pueden ser sometidos a una operación de acabado, como acepillado, rectificación a esmeril o pulido. Estos engranes tienen que soportar con frecuencia cargas rudas. Sufren algún desgaste por el trabajo, pero éste no es demasiado serio y se le da poca importancia. Su costo es elevado, pero se compensa por su rendimiento y su confiabilidad. El factor dinámico depende de:

- Efectos del espaciamento de los dientes y del error del perfil.
- Efectos de la velocidad en la línea primitiva y en las rpm
- Inercia y rigidez de todos los elementos rotatorios
- Carga transmitida por cm de cara
- Rigidez de los dientes
- Propiedades del lubricante

$$C_v = K_v = \left[ \frac{A}{A + (200 * V)^{1/2}} \right]^B \quad V \text{ en m/s}$$

$$A = 50 + 56 (1 - B)$$

$$B = \frac{(12 - Q_v)^{2/3}}{4}$$

$Q_v = 8$  ; Nivel de calidad comercial de primera clase o precisión. ( Tabla 9.4 Dudley )

Engranés rectos acabados por corte a fresa o acepillado.

$$B = \frac{(12 - 7)^{2/3}}{4} = 0.7310$$

$$V = \frac{\pi (0.136) (670)}{60} = 4.77 \text{ m/s}$$

$$A = 50 + 56 (1 - 0.7310) = 65.1$$

$$C_v = K_v = \left[ \frac{65.1}{65.1 + (200 * 4.77)^{1/2}} \right]^{0.7310} = 0.7529$$

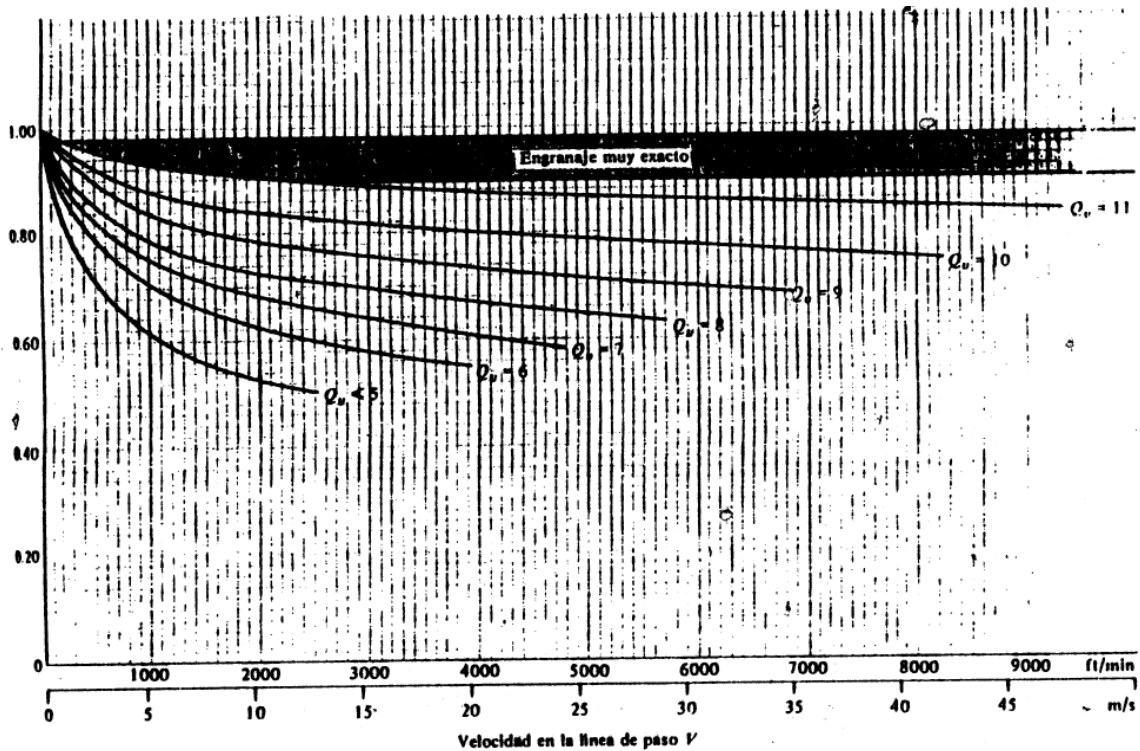


Figura 13. Factores Dinámicos  $C_v$  y  $K_v$ .  
Fuente: AGMA 218.01

4.4.1.4 Factores de Tamaño  $C_s$ ,  $K_s$ . El factor de tamaño refleja la no uniformidad de las propiedades del material. Depende principalmente de:

- Tamaño de los dientes
- Diámetro de las piezas

- Relación del tamaño entre los dientes y el diámetro de la pieza
- Ancho de cara
- Area de la plantilla de esfuerzos
- Relación entre el espesor del endurecimiento superficial y el tamaño de los dientes
- Templabilidad y tratamiento térmico de los materiales.

El factor de tamaño puede tomarse como la unidad para la mayoría de los engranes, siempre y cuando se haga una selección apropiada del material para el tamaño de las piezas y que la profundidad de la superficie endurecida o dureza patrón sea la adecuada.

$$C_s = K_s = 1$$

#### 4.4.1.5 Factor de distribución de carga $C_m, K_m$ .

**Cuadro 8. Factores de Distribución de Carga.**

CONDICIÓN DE SOPORTE	ANCHO DE CARA F, plg [mm]			
	≤ 2 (50)	6 (150)	9 (225)	≥ 16 (400)
Montaje exacto, bajas holguras de cojinetes, deflexiones mínimas, engranes de precisión	1.3 [ 1.2 ]	1.4 [ 1.3 ]	1.5 [ 1.4 ]	1.8 [ 1.7 ]
Montajes menos rígidos, engranes menos precisos, contacto a todo lo ancho de la cara	1.6 [ 1.5 ]	1.7 [ 1.6 ]	1.8 [ 1.7 ]	2.0 [ 2.0 ]
Exactitud y montaje de modo que exista contacto incompleto con la cara	> 2.0 [ > 2.0 ]			

FUENTE: SHIGLEY, Joseph. Diseño en Ingeniería Mecánica.

El factor de distribución de carga es la evaluación de los efectos de la distribución de carga no uniforme entre las caras y depende de:

- Desalineamiento entre los ejes
- Desviaciones del avance
- Deformaciones elásticas de flechas, chumaceras y cajas.

Condición de los soportes = Montaduras de menor rigidez, engranajes de menor precisión, contacto a través de toda la cara.

$$C_m = K_m = 1.6$$

**4.4.1.5 Factor de condición de la superficie** Cf. El factor de las condiciones de las superficies depende de:

- Acabado superficial según sea afectado por el cortado, acepillado, pulimentado, rectificado, picado con chorro de perdigones, etc.
- Esfuerzos residuales
- Efectos plásticos ( endurecimiento por el trabajo )

El factor de las condiciones de las superficies puede tomarse como la unidad, a menos que las pruebas o experiencias en el sitio de trabajo indiquen otra cosa.

$$C_f = 1$$

**4.4.1.7 Factor de Geometría I.** El factor de geometría toma en cuenta el efecto de las proporciones dimensionales, tales como la curvatura del perfil durante el contacto, el ángulo de presión y la repartición de la carga.

$$I = \left[ \begin{array}{l} \frac{\cos \phi * \operatorname{sen} \phi}{2 m_N} \cdot \frac{m_G}{m_G + 1} \quad \text{Engranés Externos} \\ \frac{\cos \phi * \operatorname{sen} \phi}{2 m_N} \cdot \frac{m_G}{m_G - 1} \quad \text{Engranés Internos} \end{array} \right]$$

$m_N = 1$  Para engranes rectos.

$$m_G = \frac{N_G}{N_P} = \frac{34}{26} = 1.307$$

$$I = \frac{\cos 20 * \operatorname{sen} 20}{2} \cdot \frac{1.307}{1.307 + 1} = 0.091 \quad (\text{Figura 14}).$$

**4.4.1.8 Factor de Geometría J.** El factor de geometría evalúa la forma ( o perfil ) del diente, la posición en la cual se le aplica la carga más peligrosa, concentración del esfuerzo y corrección debido a la forma geométrica y a la repartición de la carga entre uno o más pares de dientes.

$$J = 0.38 \quad (\text{Figura 15}).$$

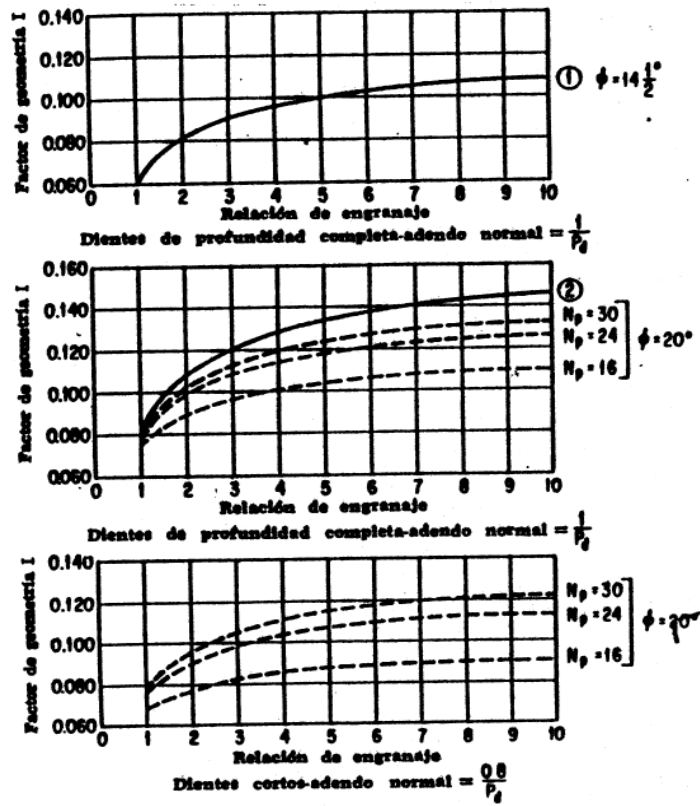


Figura 14. Factor de Geometría I  
FUENTE: SHIGLEY, Joseph. Diseño en Ingeniería Mecánica.

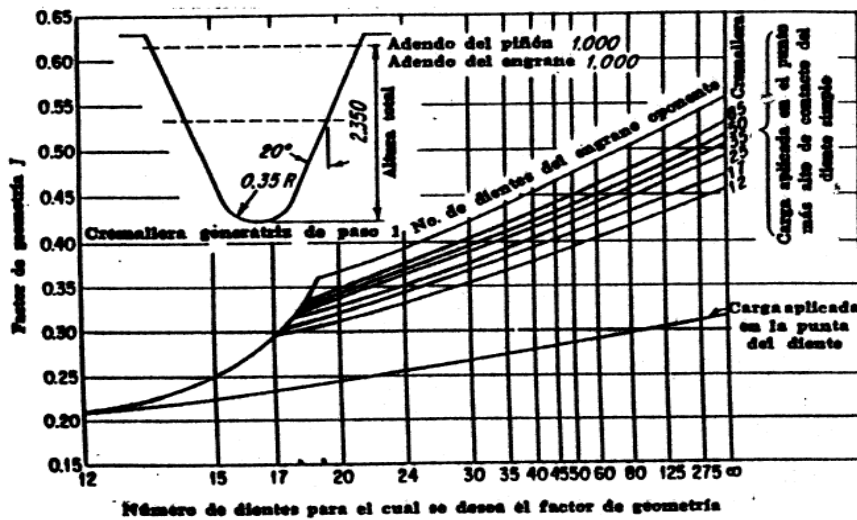


Figura 15. Factor de Geometría J  
FUENTE: SHIGLEY, Joseph. Diseño en Ingeniería Mecánica.



#### 4.4.1.9 Factores de vida útil $C_L$ , $K_L$ .

**Cuadro 9. Factores de vida útil.**

Total de ciclos de vida requeridos	Asignación de capacidad de carga por durabilidad, Factor $C_L$ de vida útil para engranajes rectos, helicoidales y cónicos	Asignación de capacidad nominal de carga por resistencia, factor de vida útil $K_L$				
		Rectos y Helicoidales				Cónicos
		160 NDB	250 NDB	450 NDB	Carburizados superficialmente	Carburizados superficialmente
1000	...	1.6	2.4	3.4	2.7	4.6
10000	1.5	1.4	1.9	2.4	2.0	3.1
100000	1.3	1.2	1.4	1.7	1.5	2.1
1 Millón	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.4
10 Millones y más	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

FUENTE: DARLE W., Dudley. Manual de Engranajes.

Los esfuerzos que se desarrollan en los engranajes no son directamente proporcionales a las cargas y a la concentración de esfuerzos, varía con el número de ciclos, por lo que resulta evidente que es difícil determinar un factor de vida exacto. Cuando se requiere una vida útil larga, debe tenerse en cuenta el desgaste normal de los engranes y de sus chumaceras, así como los efectos que esto pueda tener sobre las condiciones de contacto.

$$C_L = K_L = 1 \quad ( 10 \text{ millones de ciclos de contacto y más } )$$

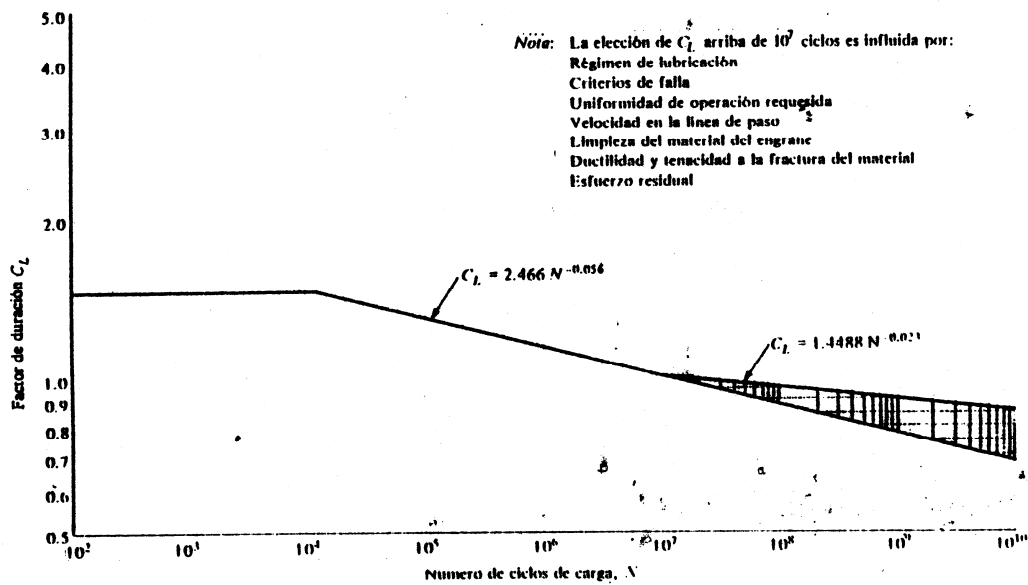


Figura 16. Factor de duración de resistencia a la picadura  $C_L$   
 FUENTE: SHIGLEY, Joseph. Diseño en Ingeniería Mecánica.

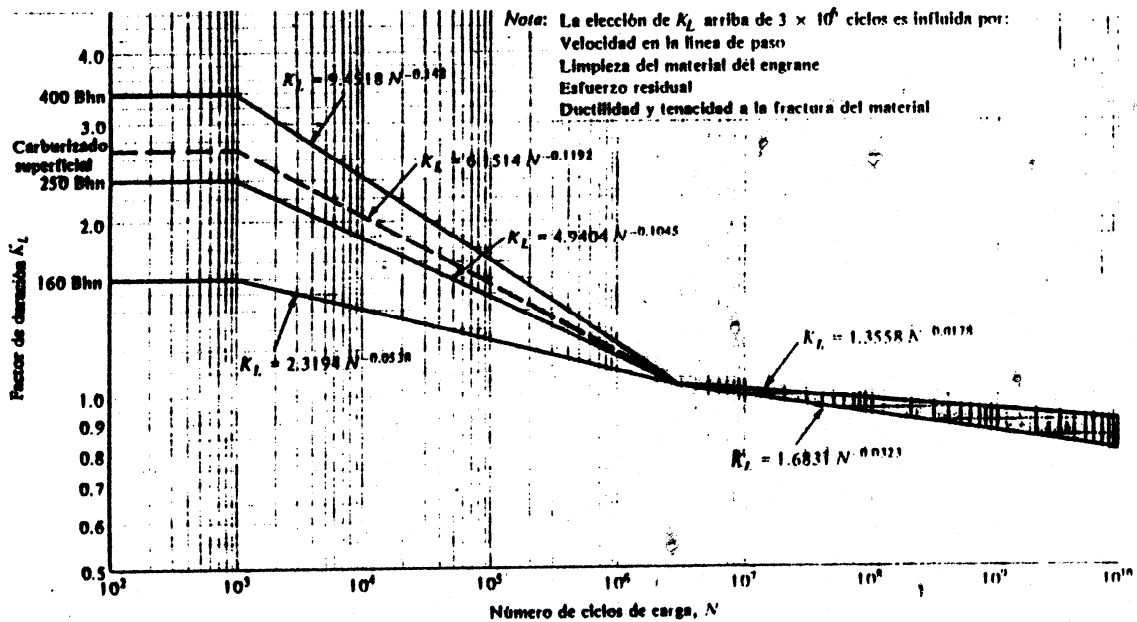


Figura 17. Factor de duración de resistencia a la flexión  $K_L$ .  
 FUENTE: SHIGLEY, Joseph. Diseño en Ingeniería Mecánica.

**4.4.1.10 Factores de Temperatura**  $C_T, K_T$  . En los engranajes en los que el aceite o los cuerpos de los engranes trabajan con temperaturas que no exceden de  $71^\circ\text{C}$ , al factor  $K_t$  se le puede asignar el valor de 1.0. En algunos casos es necesario aplicar un valor de  $K_t$  superior a 1.0, para engranes con endurecimiento superficial por carburización y temperaturas de operación mayores que  $71^\circ\text{C}$ .

$$C_T = K_T = 1$$

**4.4.1.11 Factor de relación de dureza**  $C_H$  . El factor de relación de dureza depende de:

- Relación del engranaje
- Dureza del piñón y del engrane.

$$C_H = 1.0 + A (m_G - 1) \quad \text{solo si } \left( \frac{H_{BP}}{H_{BG}} \right) \leq 1.7$$

$$A = 8.98 (10^{-3}) \left( \frac{H_{BP}}{H_{BG}} \right) - 8.29 (10^{-3})$$

$$C_H = 1$$

#### 4.4.1.12 Factores de Seguridad $C_R, K_R$ .

**Cuadro 10. Factores de Seguridad.**

Requisitos de la aplicación	Para engranes evaluados por durabilidad superficial	Para engranes evaluados por resistencia a la fatiga
Alta confiabilidad	1.25 y mayor	1.5 y mayor
Menos de 1 falla en 100	1.00	1.00
Menos de 1 falla en 3	0.80	0.70

FUENTE: DARLE W., Dudley. Manual de Engranajes.

El factor de seguridad se adopta para ofrecer la oportunidad de hacer diseños de alta confiabilidad, o en algunos casos, para un riesgo calculado. La falla no significa una falla inmediata al aplicar la carga, sino un acortamiento de la vida útil.

$$C_R = K_R = \left[ \begin{array}{ll} 0.7 - 0.15 \log ( 1 - R ) & 0.9 \leq R < 0.99 \\ 0.5 - 0.25 \log ( 1 - R ) & 0.99 \leq R < 0.9999 \end{array} \right]$$

Confiabilidad  $R = 0.9$

$$C_R = K_R = 0.7 - 0.15 \log ( 1 - 0.9 ) = 0.85$$

#### 4.4.2 Capacidad de Carga considerando durabilidad superficial.

**Cuadro 11. Resistencia a la fatiga en la superficie AGMA Sc.**

MATERIAL	CLASE AGMA	DESIGNACION COMERCIAL	TRATAMIENTO TERMICO	DUREZA MINIMA EN LA SUPERFICIE	Sc	
					Psi	Mpa
Acero	DE A-1 a A-5	-	Templado completo y revenido	180 BHN y menor	85-95000	(590-660)
				240 BHN	105-115000	720-790
				300 BHN	120-135000	830-930
				360 BHN	145-160000	1000-1100
				400 BHN	155-170000	1100-1200
		Endurecido por flameo o por inducción	50 HRC 54 HRC	170-190000 175-195000	1200-1300 1200-1300	
		Carburizado y endurecido en superficie	55 HRC 60 HRC	180-200000 200-225000	1250-1400 1400-1550	
		AISI 4140 AISI 4340 Nitratos 135M 2.5% cromo 2.5% cromo	Nitrurado Nitrurado Nitrurado Nitrurado Nitrurado	48 HRC 46 HRC 60 HRC 54 HRC 60 HRC	155-180000 150-175000 170-195000 155-172000 192-216000	1100-1250 1050-1200 1170-1350 1100-1200 1300-1500
Hierro fundido	20		Según es fundido	-	50-60000	340-410
	30		Según es fundido	175 BHN	65-75000	450-520
	40		Según es fundido	200 BHN	75-85000	520-590
Hierro nodular (dúctil)	A-7-a	60-14-18	Recocido, templado y revenido	140 BHN	90-100% del valor Sc del acero con la misma dureza	
	A-7-c	80-55-06		180 BHN		
	A-7-d	100-70-03		230 BHN		
	A-7-e	120-90-02		270 BHN		
Hierro maleable (perlítico)	A-8-c	45007	-	165 BHN	72000	500
	A-8-e	50005	-	180 BHN	78000	540
		53007	-	195 BHN	83000	570
	A-8-i	80002	-	240 BHN	94000	650
Bronce	Bronce 2	AGMA 2C	Fundido en molde de arena	Resistencia (última) mínima a la tensión 40000 lb/in <sup>2</sup> (275 Mpa)	30000	205
	Al/Br 3	ASTM B-148-52 Aleación 9C	Tratado térmicamente	Resistencia mínima a la tensión 90000 lb/in <sup>2</sup> (620 Mpa)	65000	450

FUENTE: SHIGLEY, Joseph. Diseño en Ingeniería Mecánica.

La durabilidad superficial se mide según el grado de resistencia del perfil de los dientes contra el fenómeno que se conoce como desmoronamiento, producido por la fatiga del material.

$$S_c = C_p \sqrt{\frac{F_t * C_o}{C_v} \frac{C_s}{d * F} \frac{C_m * C_f}{I}}$$

$$S_c \leq S_{ac} \frac{C_L * C_H}{C_T * C_R} \rightarrow S_{ac} = \text{Número permisible del esfuerzo de contacto}$$

**Diámetro de Paso del piñón d**

$$d = 13.6 \text{ cm}$$

**Ancho de Cara F**

$$8 M < F < 12 M$$

$$F = 8 (4) = 32 \text{ mm} = 3.2 \text{ cm}$$

$$S_c = 163 \sqrt{\frac{428 * 1.25}{0.7529} \frac{1}{13.6 * 3.2} \frac{1.6 * 1}{0.091}}$$

$$S_{cmax} = 2761.8 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$S_{cmax} = \frac{2761.8 * 1 * 1}{1 * 0.85} = 3249.2 \text{ Kg} / \text{cm}^2 \cong 318.5 \text{ Mpa}$$

$$S_c = 28.12 (\text{BHN}) - 703 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$\text{BHNc} = \frac{S_c + 703}{28.12} = \frac{3249.2 + 703}{28.12} = 140.5$$

Selección: Hierro Fundido      ASTM 20      (Tabla 11 )  
 150 BHN  
 $S_c = 340 \text{ Mpa}$

#### 4.4.3 Capacidad de carga considerando la resistencia.

$$S_t = \frac{F_t * K_o}{K_v} \frac{1}{F * m} \frac{K_s * K_m}{J}$$

$$S_t = \frac{428 * 1.25}{0.7529} \frac{1}{3.2 * 4} \frac{1 * 1.6}{0.38}$$

$$S_t = 111.0 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$S_{tmax} = \frac{S_t * K_L}{K_t * K_r}$$

$$S_{tmax} = \frac{111 * 1}{1 * 0.85} = 130.6 \text{ Kg} / \text{cm}^2 \quad \cong 12.8 \text{ Mpa}$$

Selección : Hierro Fundido      ASTM 20      (Tabla 12 )  
 150 BHN  
 $S_t = 35 \text{ Mpa}$

**Cuadro 12. Resistencia a la flexión AGMA St.**

MATERIAL	CLASE AGMA	DESIGNACION COMERCIAL	TRATAMIENTO TERMICO	DUREZA MINIMA EN LA SUPERFICIE	NUCLEO	St	
						Psi	Mpa
<b>Acero</b>	De A-1 a A-5	-	Templado completo y revenido	180 BHN	-	25-	170-
				240 BHN	-	33000	230
				300 BHN	-	31-	210-
				360 BHN	-	41000	280
				400 BHN	-	36-	250-
						47000	320
						40-	280-
						52000	360
						42-	290-
						56000	390
		Endurecido por flameo o inducción con patrón de tipo A	50-54 HRC	-	45-55000	310-380	
		Endurecido por flameo o inducción con patrón de tipo B		-	22000	150	
		Carburizado y endurecido en la superficie	55 HRC 60 HRC	- -	55-65000 55-70000	380-450 380-480	
	AISI 4140 AISI 4340 Nitrillos 135M 2.5% de cromo	Nitrurizado	48 HRC	300	34-	230-	
Nitrurizado		46 HRC	BHN	45000	310		
Nitrurizado		60 HRC	300	36-	250-		
Nitrurizado		54-60 HRC	BHN	47000	325		
			300	38-	260-		
			BHN	48000	330		
			350	55-	380-		
			BHN	65000	450		
<b>Hierro fundido</b>	20		Según es fundido	-	-	5000	35
	30		Según es fundido	175 BHN	-	8500	69
	40		Según es fundido	200 BHN	-	13000	90
			Según es fundido				
<b>Hierro</b>	A-7-a	60-40-18	Recocido,	140 BHN	-	90-	



<b>nodular (dúctil)</b>	A-7-c	80-55-06	templado y revenido	180 BHN	-	100% de St para acero de la misma dureza	
	A-7-d	100-70-03		230 BHN	-		
	A-7-e	120-90-02		270 BHN	-		
<b>Hierro maleable (perlítico)</b>	A-8-c	45007	-	165 BHN	-	10000	70
	A-8-e	50005	-	180 BHN	-	13000	90
	A-8-f	53007	-	195 BHN	-	16000	110
	A-8-i	80002	-	240 BHN	-	21000	145
<b>Bronce</b>	Bronce 2	AGMA 2C	Fundido en molde de arena Fundido en molde de arena	Resistencia (última) mínima a la tensión 40000 lb/in <sup>2</sup> (275 Mpa)		5700	40

FUENTE: SHIGLEY, Joseph. Diseño en Ingeniería Mecánica.

#### 4.5 DISEÑO DEL ENGRANE SOLAR

**4.5.1 Cálculo del Eje – Criterio A.S.M.E.** En este engrane las fuerzas radiales se compensan, por lo tanto el momento flector alternante es despreciable. En cambio, el torque medio es la suma de los torques independientes producidos por los engranes planetarios.

$$T_m = 3 \times F_t \times D_p/2 = 3 \times 4194.4 \times 0.104/2 = 654.33 \text{ N.m}$$

$$d_s = \left\{ \frac{32 (1.5)}{\pi} \left[ \frac{3}{4} \left( \frac{654.33}{96.53 \times 10^6} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} = 44.76 \text{ mm}$$

**4.5.2 Proyecto de los rodamientos.** Podemos seleccionar también rodamientos 6209–2z ó 6209 – 2RS, ya que el diámetro del eje calculado para el engrane solar, no excede los 45 mm ( Tabla 4 ).

#### **4.6 DISEÑO DE LA CARCASA.**

**4.6.1 Transferencia de Calor.** El medio refrigerante tanto del multiplicador como del Generador es el agua que fluye por la unidad, la cual evacúa el calor generado por estos elementos dentro del bulbo.

La temperatura promedio del agua es de 15 °C, por lo tanto, las propiedades físicas de la misma son :

Densidad  $\rho = 0.9990 \text{ gr / cm}^3$

Viscosidad  $\mu = 1.15 \text{ cp} \cong 0.0115 \text{ gr / cm x sg}$  ( Anexo E ).

$$1 \text{ cp} = 0.01 \text{ gr / cm x sg}$$

Conductividad Térmica  $k = 0.356 \text{ Btu / h x ft}^2 ( \text{°F} / \text{ft} )$  ( Anexo F ).

$$1 \text{ Btu / h x ft}^2 ( \text{°F} / \text{ft} ) = 0.01731 \text{ Joule / sg x cm}^2 ( \text{°C} / \text{cm} )$$

$$k = 0.006162 \text{ Joule / sg x cm}^2 ( \text{°C} / \text{cm} )$$

Calor Específico  $c = 1 \text{ Btu / lb x } ^\circ \text{F}$  ( Anexo G ).

$$1 \text{ Btu / lb x } ^\circ \text{F} = 4.1868 \text{ Joule / gr x } ^\circ \text{C}$$

$$c = 4.1868 \text{ Joule / gr x } ^\circ \text{C}$$

**Area de Flujo a la entrada de la unidad**  $A_e$

$$A_e = \frac{\pi}{4} D_e^2 = \frac{\pi}{4} (110)^2 = 9503 \text{ cm}^2$$

**Area de flujo en el ánulo de la unidad**  $A_f$

$$A_f = \frac{\pi}{4} (D_e^2 - D_b^2) = \frac{\pi}{4} (110^2 - 60^2) = 6675 \text{ cm}^2$$

**Ecuación de Continuidad**  $Q = V * A$

$$V_e A_e = V_f A_f$$

$$V_e = 1.3 \text{ m/s} \cong 130 \text{ cm/s}$$

$$A_e = 9503 \text{ cm}^2$$

$$A_f = 6675 \text{ cm}^2$$

$$V_f = \frac{A_e}{A_f} V_e = \frac{9503}{6675} (130) = 185 \text{ cm/s}$$

**Coefficiente de Película**  $h_o$

$$h_o = 0.027 \left( \frac{K}{D_e} \right) \left( \frac{D_e * V_f * \rho}{\mu} \right)^{0.8} \left( \frac{c * \mu}{k} \right)^{1/3}$$

**Diámetro Equivalente para transferencia de calor**

Deq

$$Deq = \frac{De^2 - Db^2}{Db} = \frac{110^2 - 60^2}{60} = 142 \text{ cm}$$

**Número Reynolds Re**

$$Re = \frac{Deq * Vf * \rho}{\mu} = \frac{142 \text{ cm} \times 185 \text{ cm / sg} \times 0.9990 \text{ gr / cm}^3}{0.0115 \text{ gr / cm} * \text{sg}} = 2282063$$

**Número Prandtl Pr**

$$Pr = \frac{c * \mu}{K} = \frac{4.1868 \text{ Joule / gr} * \text{°C} \times 0.0115 \text{ gr / cm} * \text{sg}}{0.006162 \text{ Joule / sg} * \text{cm}^2 (\text{°C / cm})} = 7.8137$$

$$ho = 0.027 \left( \frac{0.006162 \text{ Joule / sg} * \text{cm}^2 (\text{°C / cm})}{142 \text{ cm}} \right) (2282063)^{0.8} (7.8137)^{1/3}$$

$$ho = 0.2838 \text{ Joule / sg} * \text{cm}^2 * \text{°C}$$

**4.6.2 Superficie de Transferencia de Calor.**

$$A_T = \pi D L = \pi (60) (80) = 15000 \text{ cm}^2$$

$$\frac{Q}{\Delta T \text{ °C}} = 0.2838 \text{ Joule / sg} * \text{cm}^2 * 15000 \text{ cm}^2 = 4257 \text{ Joule / sg} = 4257 \text{ Watt}$$

$$Q = 4.25 \text{ Kw} / \Delta T \text{ } ^\circ \text{C}$$

## 4.7 SELECCIÓN DEL LUBRICANTE

### 4.7.1 Parámetro del Lubricante L.

$$L = \frac{h_o^{1.35} W_T^{0.148}}{G n_p}$$

$h_o$  = Espesor mínimo de la película lubricante (  $\mu\text{m}$  )

$$h_o = \lambda \sigma_m \text{ (} \mu\text{m)}$$

$\lambda$  = Espesor específico de la película lubricante. ( Figura 18 )

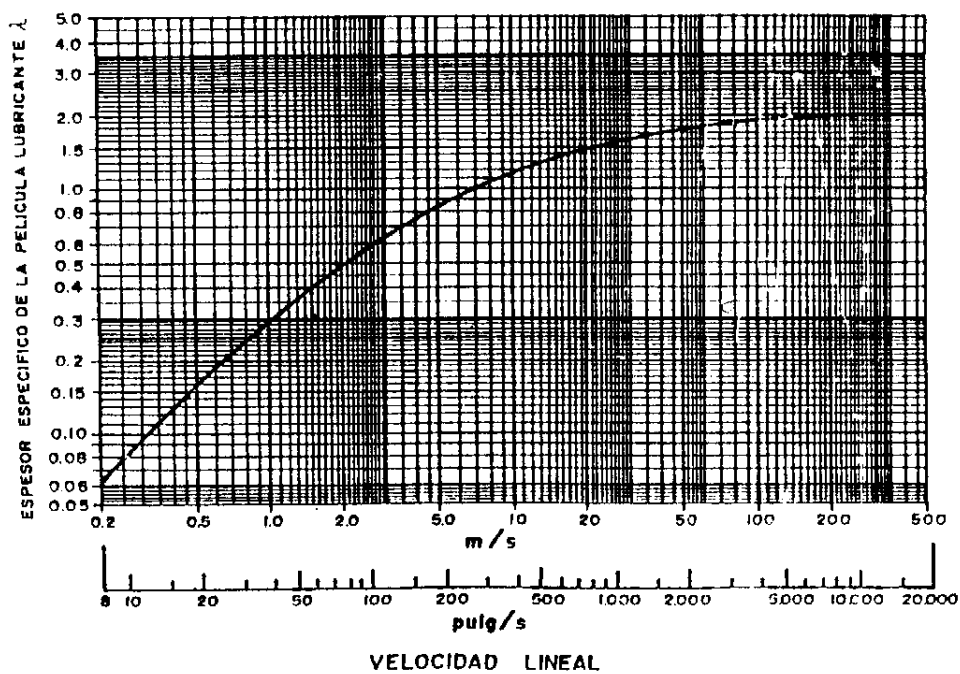


Figura 18. Cálculo del Espesor específico de la película Lubricante  $\lambda$

FUENTE: ALBARRACIN AGUILON, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz

$$V_1 = \frac{\pi (0.104) (1755)}{60} = 9.556 \text{ m/s} \quad \rightarrow \quad \lambda = 1.15$$

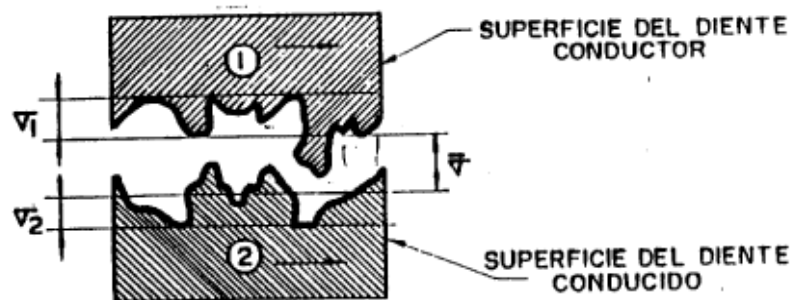
$\sigma_m$  = Promedio geométrico de las rugosidades ( $\mu\text{m}$ ) (Figura 19).

$$\sigma_m = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{1/2}$$

Para dientes fresados:

$\sigma = 0.81 \quad \mu\text{m} \quad \text{Valor inicial.}$

$\sigma = 0.408 \quad \mu\text{m} \quad \text{Dientes Usados.}$



**Figura 19. Diagrama de Rugosidades.**

FUENTE: ALBARRACIN AGUILON, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial

$$\sigma_1 = \sigma_2 = 0.7 \mu\text{m}$$

$$\sigma_m = (0.7^2 + 0.7^2)^{1/2} = 0.98 \mu\text{m}$$

$$h_o = 1.15 \times 0.98 = 1.138 \mu\text{m}$$

**Cuadro 13. Interpretación del espesor mínimo de película ( $h_o$ ).**

Ho		Comentarios
$\mu m$	$\mu$ pulg	
1.26	50	Satisfactorio para engranajes grandes abiertos.
0.88-1.26	35-50	Marginal para engranajes grandes abiertos. Adecuado para engranajes encerrados.
0.50-0.88	20-35	Satisfactorio para engranajes encerrados lubricados por presión.
0.25-0.50	10-20	No es satisfactorio, a no ser que el acabado de las superficies sea de alta calidad.
0.25	10	No es permisible

FUENTE: ALBARRACIN AGUILON, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial

### Carga total transmitida por unidad de longitud.

$$W_T = \frac{T_e (r + 1)}{r h b \cos \phi n} \quad [ N / m ]$$

### Torque del engranaje.

$$T_e = \frac{K P}{n_e} \quad [ N . m ] \quad \text{Torque del engranaje.}$$

K : Constante 9550 Nm

P : Potencia Transmitida Kw

$n_e$  : Velocidad del engranaje rpm.

### Relación de Reducción:

$$r = \frac{n_p}{n_e} = \frac{1750}{670} = 2.61$$

**Distancia entre centros.**

$$h = 0.130 \text{ m}$$

**Longitud del Diente:**

$$b = 0.04 \text{ m}$$

$$W_T = \frac{855 \text{ N.m} (2.61 + 1)}{2.61 \times 0.130 \times 0.04 \times \cos 20} = 242015 \text{ N / m}$$

**Parámetro Geométrico.**

$$G = \frac{3.4 \times 10^{-4} (r h \sin \phi_n) 1.5 E_D^{0.148}}{(r + 1)^2}$$

**Módulo Equivalente de Elasticidad.**

$$E_D = 2 \left[ \frac{(1 - \mu_1^2)}{E_1} + \frac{(1 - \mu_2^2)}{E_2} \right]^{-1} \text{ N.m}^{-2}$$

**Relación de Poisson de los materiales para Compresión.**

$$\mu = \frac{E}{2 G'} - 1 = \frac{1.51 \times 10^{11}}{2 (0.41 \times 10^{11})} - 1 = 0.8415$$

**Cuadro 14. Módulos de Elasticidad ( E ) y de Cizallada ( G' )**



Tipo de material	E		G'	
	X 10 <sup>11</sup> Nm <sup>-2</sup>	x 10 <sup>6</sup> lb/plg <sup>2</sup>	x 10 <sup>11</sup> Nm <sup>-2</sup>	x 10 <sup>6</sup> lb/plg <sup>2</sup>
<b>Aceros aleados y no aleados</b>	2.07	30	0.79	11.5
<b>Bronce fosforoso</b>	1.24	18	0.41	6.0
<b>Aleaciones de níquel</b>	1.79-2.07	26-30	0.79	11.5
<b>Aleaciones de cobre</b>	1.03-1.24	15-18	0.44	6.49
<b>Aleaciones de aluminio</b>	0.69-0.75	10-11	0.26	3.80
<b>Aleaciones de magnesio</b>	0.44	6.50	0.16	2.40
<b>Hierro fundido (depende de la cantidad de grafito)</b>	1.03-1.51	15-22	0.41	6.0
<b>Hierro maleable (depende de la cantidad de grafito)</b>	1.79-1.86	26-27	0.41	6.0

FUENTE: ALBARRACIN AGUILON, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz

### Módulos de Elasticidad

(Tabla 14).

$$E_1 = E_2 = 1.51 \times 10^{11} \text{ N.m}^{-2}$$

### Módulos de Cizalladura

(Tabla 14).

$$G'_1 = G'_2 = 0.41 \times 10^{11} \text{ N.m}^{-2}$$

$$\mu_1 = \mu_2 = 0.8415$$

$$E_D = 2 \left[ \frac{(1 - 0.8415^2)}{1.51 \times 10^{11}} + \frac{(1 - 0.8415^2)}{1.51 \times 10^{11}} \right]^{-1} \text{ N.m}^{-2}$$

$$E_D = 5.17 \times 10^{11} \text{ N.m}^{-2}$$

$$G = \frac{3.4 \times 10^{-4} (2.61 \times 0.130 \times \text{sen } 20)^{1.5} \times (5.17 \times 10^{11})^{0.148}}{\dots}$$

$$(2.61 + 1)^2$$

$$G = 5.58 \times 10^{-5}$$

$$L = \frac{1.138^{1.35} \times 242015^{0.148}}{5.58 \times 10^{-5} \times 1750} = 76.37$$

#### 4.7.2 Temperatura de Operación.

$$\frac{Q}{\Delta T \text{ } ^\circ \text{C}} = 4.25 \text{ Kw / } ^\circ \text{C}$$

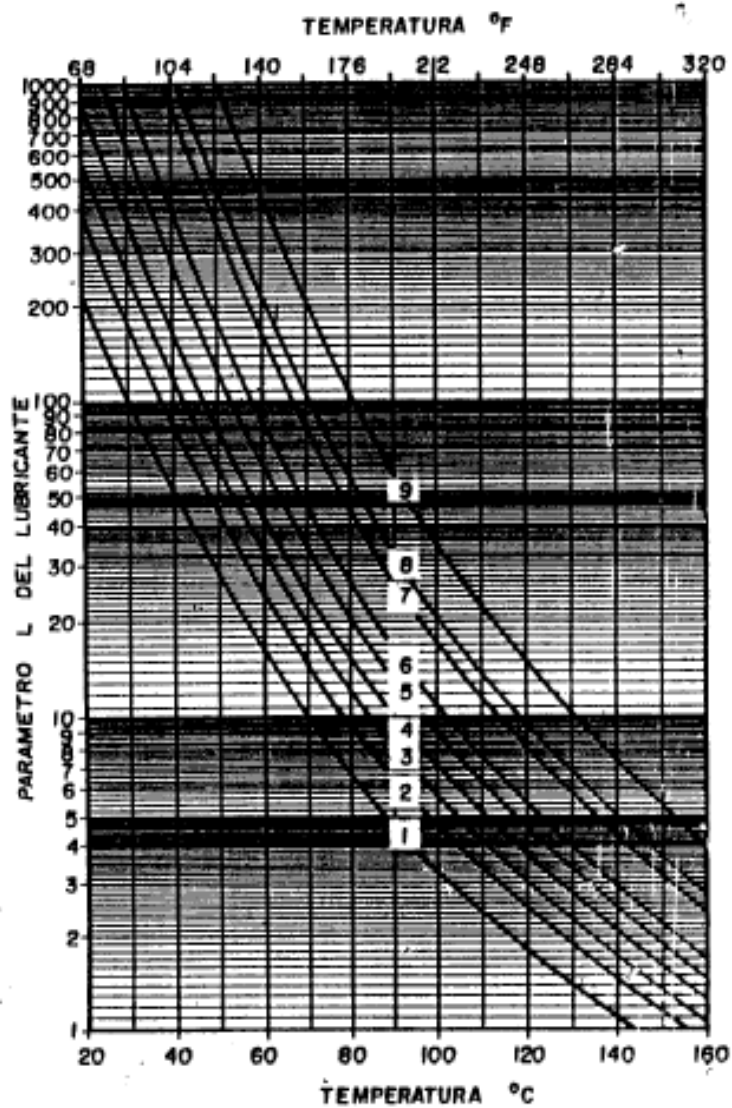
El flujo de agua que circula por la unidad evacua el calor generado dentro del bulbo a una tasa de 4.25 Kw / ° C, garantizando el enfriamiento del generador y el multiplicador. El incremento de temperatura  $\Delta T$  por pérdida de eficiencia y por fricción fluida en reductores con engranajes cilíndricos de dientes rectos se considera aproximadamente 20 °C por recomendación de la A.G.M.A. para lubricación por circulación.

De esta manera :

$$T_f = T_{amb} + \Delta T = 15 \text{ } ^\circ \text{C} + 20 \text{ } ^\circ \text{C} = 35 \text{ } ^\circ \text{C}$$

Se diseña  $T_f = 40 \text{ } ^\circ \text{C}$ .

4.7.3 Lubricante recomendado y equivalentes. De la figura 20, con el parámetro del lubricante  $L = 76.37$  y  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  se selecciona un aceite **AGMA GRADO 2 EP**. (Tabla 15).



**Figura 20. Viscosidad de Aceites minerales en el sistema AGMA.**  
**FUENTE: ALBARRACIN AGUILON, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial**

**Cuadro 15. Lubricantes recomendados para engranajes rectos.**

Centros de baja velocidad	Temp. Ambiente ° F	
	15-60 use AGMA No.	50-125 use AGMA No.
Flechas paralelas (reducción simple) hasta 8"	2	3
Arriba de 8" y hasta 20"	2	4
Arriba de 20"	3	4
Flechas paralelas (doble reducción), hasta 8"	2	3
Arriba de 8" y hasta 20"	3	4
Arriba de 20"	3	4
Flechas paralelas (reducción triple), hasta 8"	2	3
Arriba de 8" y hasta 20"	3	4
Arriba de 20"	4	5
Unidades con engranes espirales o cónicos rectos		
Longitud del cono hasta 12"	2	4
Longitud del cono mayor de 12"	3	5
Motores con engranaje reductor	2	4
Unidades de alta velocidad	1	2

FUENTE: DARLE W. Dudley. Manual de Engranajes

**Cuadro 16. Rangos mínimo y máximo de la viscosidad en el sistema AGMA.**

Número AGMA	SSU/100 ° F		CSt/37.8 ° C	
	Mín	Máx	Mín	Máx
1	193	235	41.4	50.6

2, 2EP	284	347	61.2	74.8
3, 3EP	417	510	90.0	110.0
4, 4EP	626	765	135.0	165.0
5, 5EP	918	1122	198.0	242.0
6, 6EP	1335	1632	288.0	352.0
7, 7 Compound, 7EP	1919	2346	414.0	506.0
8, 8 Compound, 8EP	2837	3467	900.0	1100.0
8 A Compound	4171	5098	900.0	1100.0
9, 9EP	6260	7650		
10, 10EP	13350	16320		
11, 11EP	19190	23460		
12, 12EP	28370	34670		
13, 13EP	850	1000		

FUENTE: ALBARRACIN AGUILON, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial

SSU / 100 oF [ 284 – 347 ] ASTM 315

CSt / 40 oC [ 61.2 – 74.8 ] ISO 68, SAE 10W30, SAE 80W

**Cuadro 17. Rangos mínimo y máximo de la viscosidad en el sistema ASTM.**

Grado de viscosidad ASTM	SSU a 100 ° F (37.8 ° C)		Grado de viscosidad ASTM	SSU a 100 ° F (37.8 ° C)		Grado de viscosidad ASTM	SSU a 100 ° F (37.8 ° C)	
	Mín	Máx		Mín	Máx		Mín	Máx
32	32.5	34.0	105	97.0	115.9	1000	917	1121
36	35.6	37.6	150	136.2	164.9	1500	1334	1831
40	39.6	42.6	215	193.0	235.0	2150	1918	2344
50	46.0	50.3	315	284.0	347.0	3150	2835	3465
60	55.4	62.4	465	417.0	510.0	4650	4169	5095
75	71.6	83.4	700	625.0	764.0	7000	6253	7642

FUENTE: ALBARRACIN AGUILON, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial

**Cuadro 18. Clasificación de la viscosidad en el sistema ISO.**

Grado ISO	CSt/40 ° C		SSU/100 oF (37.8 ° C)		SSU/210 ° F (98.7 ° C)	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
2	1.98	2.42	32.8	34.4	-	-
3	2.88	3.52	36.0	38.2	-	-
5	4.14	5.06	40.4	43.5	-	-
7	6.12	7.48	47.2	52.0	-	-
10	9.00	11.00	57.6	65.3	34.6	35.7

15	13.50	16.50	75.8	89.1	37.0	38.3
22	19.80	24.20	105.0	126.0	39.7	41.4
32	28.80	35.20	149.0	182.0	43.0	45.0
46	41.40	50.60	214.0	262.0	47.1	49.9
68	61.20	74.80	317.0	389.0	52.9	56.9
100	90.0	110.0	469.0	575.0	61.2	66.9
150	135.0	165.0	709.0	871.0	73.8	81.9
220	198.0	242.0	1047.0	1283.0	90.4	101.0
320	288.0	352.0	1533.0	1881.0	112.0	126.0
460	414.0	506.0	2214.0	2719.0	139.0	158.0
680	612.0	748.0	3298.0	4048.0	178.0	202.0
1000	900.0	1100.0	4864.0	5975.0	226.0	256.0
1500	1350.0	1650.0	7865.0	9079.0	291.0	331.0

FUENTE: ALBARRACIN AGUILON, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial

**Cuadro 19. Viscosidad para engranajes automotores.**

Grado SAE	Límite de Viscosidad			
	CSt a 40 ° C		CSt a 100 ° C	
	Mín	Máx	Mín	Máx
75W	20	22	4.1	4.4
80W	65	70	7.0	9.4
85W	120	130	11.0	13.0
80	75	80	8.6	11.3
90	200	220	13.5	24.0
140	420	440	24.0	41.0
250	1200	1400	41.0	60.0
80W90	120	130	14.0	15.0
85W90	185	200	16.5	17.3
85W140	300	320	24.1	26.0

FUENTE: ALBARRACIN AGUILON, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial

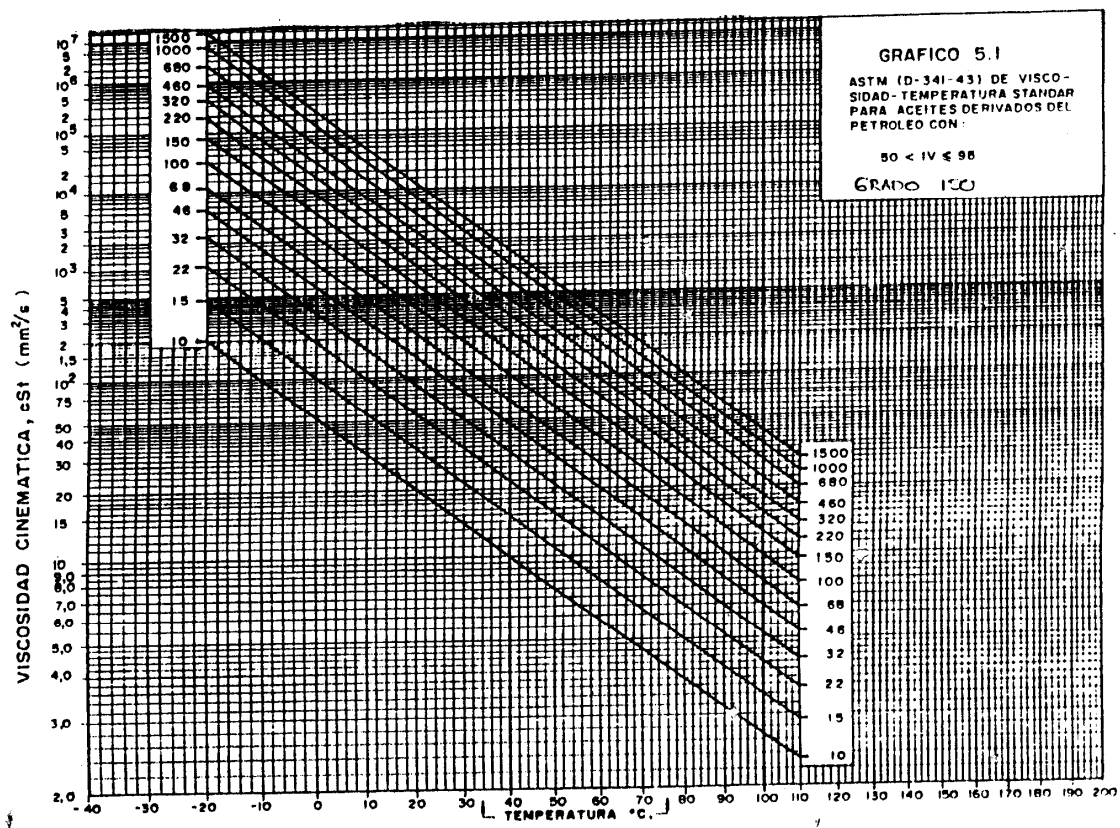


Figura 21. Nomograma de viscosidades en el sistema ISO.  
 FUENTE: ALBARRACIN AGUILON, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial

Cuadro 20. Clasificación de los aceites multigrados.

Grado SAE	Límite de Viscosidad			
	cSt a 40 ° C		cSt a 100 ° C	
	Mín	Máx	Mín	Máx
5W40	100	120	16.3	19.7
10W30	60	70	9.3	13.7
15W40	90	110	13.7	16.3
15W50	120	130	16.3	19.7
20W20	61	69	5.6	9.3
20W30	90	110	9.3	13.7
20W40	120	130	13.7	16.3

FUENTE: ALBARRACIN AGUILON, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial

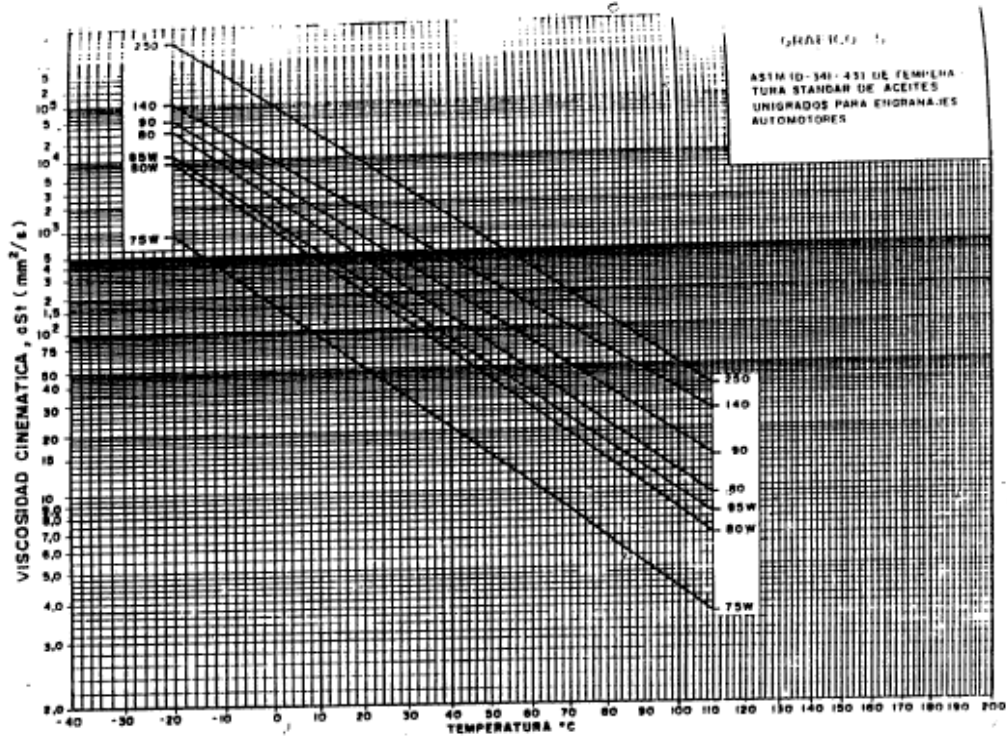
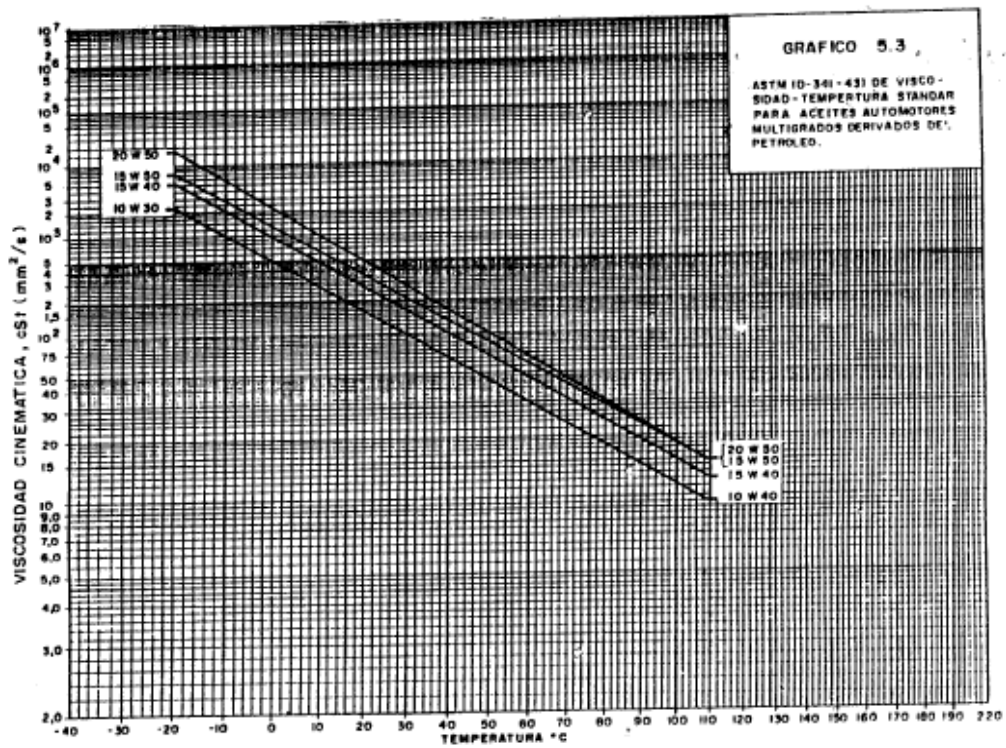


Figura 22. Nomograma de viscosidades de aceites unígrados para engranajes automotores.

FUENTE: ALBARRACIN AGUILON, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial





**Figura 23. Nomograma de viscosidades de aceites automotores multigrados derivados del petróleo.**

FUENTE: ALBARRACIN AGUILON, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial

**Cuadro 21. Equivalencias entre los diferentes sistemas de clasificación de la viscosidad.**

Grado ISO	Grado ASTM	Grado AGMA	Grado SAE			
			Motor		Engranajes	
			Unigrado	Multigrado	Unigrado	Multigrado
2	32	-	-	-	-	
3	36	-	-	-	-	
5	40	-	-	-	-	
7	50	-	-	-	-	
10	60	-	-	-	-	
15	75	-	-	-	-	
22	105	-	-	-	-	
32	150	-	0W, 5W 10W	-	75W	
46	215	1	-	-	-	
68	315	2, 2EP	10, 15W 20W	-	80, 80W	
100	465	3, 3EP	20	10W30 20W20 5W50		
	700	4, 4EP	30, 25W	15W40 20W30 15W50 20W40	85W	80W90

FUENTE: ALBARRACIN AGUILON, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial

## **5. SISTEMA ELECTRICO DE GENERACION, DISTRIBUCION Y CONTROL**

La Unidad Generadora funciona para suministrar potencia eléctrica a cargas específicas seleccionadas. Dos grupos del equipo, la fuente de potencia y el equipo de conmutación eléctrica, subdividen el sistema con base en las funciones. Aún cuando los dos grupos de equipo tienen funciones independientes, los grupos están interrelacionados y ambos sirven al propósito común del sistema completo.

**La fuente de potencia** es el conjunto Turbina- Generador, es la parte principal del grupo. El Generador está acoplado permanentemente para ser impulsado por la turbina, que transforma la energía hidráulica en energía mecánica. Esta energía mecánica se transmite al Generador por medio de un embrague electromecánico y el multiplicador de velocidades por engranes planetarios.

Los tipos de generadores, estilos, tamaños, montajes y carcasas, varían grandemente; de modo que el primer paso para utilizar correctamente los generadores eléctricos es conocer tanto los generadores como la terminología que la industria emplea para describirlos. Hay muchos modos de clasificar los generadores, pero cualesquiera que sean los que se escogan, en algún punto es necesaria la familiarización con los estándares y las clasificaciones de la *National Electrical Manufacturers Association* ( NEMA).

Las normas NEMA son una buena base con cualquiera para organizar un análisis de los generadores para su selección. La NEMA es una organización no lucrativa cuyas normas voluntarias se han adoptado ampliamente por los fabricantes y usuarios de generadores. La norma NEMA “Motors and Generators” (MG1-1967) fue establecida para eliminar malentendidos entre los fabricantes y compradores y para ayudar al comprador a seleccionar y obtener el producto adecuado para sus necesidades particulares. La última actualización de esta norma se dió en 1998.

**El equipo de conmutación eléctrica** tiene la función de interconectar la potencia del generador con el equipo que la utiliza. El equipo de conmutación eléctrica incluye interruptores de derivación, protección contra sobrecorriente, y en el caso de operación en paralelo de múltiples unidades, tableros de conmutación en paralelo y de totalización. Un conmutador de transferencia automático ofrece operación completamente automática que no requiere atención.

Contiene sensores de voltaje que detectan condiciones de voltaje bajo o sobrevoltaje, lámparas indicadoras de la operación, medidores eléctricos ( amperímetro de ca, voltímetro de ca, medidor de nivel de frecuencia, vatímetro, sincronización de luces, interruptor de circuitos para conectar la salida del generador al switch, y controles de voltaje y ajuste de frecuencia.

## 5.1 SELECCIÓN DEL GENERADOR

Los Generadores se clasifican por su tamaño, aplicación, tipo eléctrico, letra de diseño NEMA, protección contra el medio ambiente y métodos de enfriamiento. Están clasificados para condiciones normales y especiales del medio ambiente y operación, por rendimiento y configuración mecánica ( voltaje, frecuencia, factor de servicio, caballos de potencia, velocidad, par de torsión, rendimiento, elevación de temperatura, ciclo de servicio y tamaño de carcasa).

**5.1.1 Selección de tamaño.** Virtualmente todos los generadores eléctricos utilizados en el medio industrial pueden clasificarse por su número de caballos de potencia o fracciones de éstos. A despecho de la distinción obvia por caballos de potencia, el tamaño de carcasa determina en realidad a cuál categoría pertenece un generador. Un generador de fracción de caballos de potencia ( FHP) puede estar construido en una carcasa que se designa mediante un número de dos dígitos, o en una carcasa de tres dígitos menor que la serie 140. A un generador con un número entero de caballos ( EHP) corresponde una carcasa que tiene un número de tres dígitos, de 140 a 680. **De la tabla 22, con 56 Kw, obtenemos el tamaño básico 365.**

**Cuadro 22. Número de carcasa NEMA según la potencia.**

<b>( Kw ) and HORSEPOWER RATINGS</b>							<b>T Frame No.</b>
<b>TEFC</b>			<b>OPEN</b>		<b>OPEN &amp; TEFC</b>		
<b>Kw</b>	<b>3600</b>	<b>1800</b>	<b>3600</b>	<b>1800</b>	<b>1200</b>	<b>900</b>	
<b>1.1</b>	1 ½	1	1 ½	1	¾	½	<b>143T</b>
<b>1.5</b>	2	1 ½	2	1 ½	1	¾	<b>145T</b>
<b>2.2</b>	3	3	5	3	1 ½	1	<b>182T</b>
<b>3.7</b>	5	5	7 ½	5	2	1 ½	<b>184T</b>
<b>5.6</b>	7 ½	7 ½	10	7 ½	3	2	<b>213T</b>
<b>7.5</b>	10	10	15	10	5	3	<b>215T</b>
<b>11.2</b>	15	15	20	15	7 ½	5	<b>254T</b>
<b>14.9</b>	20	20	25	20	10	7 ½	<b>256T</b>
		25		25	15	10	<b>284T</b>
<b>18.7</b>	25	25	30	25	15		<b>284TS</b>
		30		30	20	15	<b>286T</b>
<b>22.4</b>	30	30	40	30	20		<b>286TS</b>
		40		40	25	20	<b>324T</b>
<b>30</b>	40	40	50	40	25		<b>324TS</b>
		50		50	30	25	<b>326T</b>
<b>37</b>	50	50	60	50	30		<b>326TS</b>
				60	40	30	<b>364T</b>
<b>45</b>	60	60	75	60			<b>364TS</b>
				75	50	40	<b>365T</b>
<b>56</b>	75	75	100	75			<b>365TS</b>
				100	60	50	<b>404T</b>
			125	100			<b>404TS</b>
					75	60	<b>405T</b>
<b>75</b>	100	100	150	125			<b>405TS</b>
					100	75	<b>444T</b>
<b>93</b>	125	125	200	150			<b>444TS</b>
					125	100	<b>445T</b>
<b>112</b>	150	150	250	200			<b>445TS</b>

Notas Sufijo "S" indica eje corto. Disponible en Generadores de 25 HP o mayores.

FUENTE: NEMA. Motors and Generators MG1-1998 Standard. Parte 4 y 11.

**5.1.2 Selección por su aplicación.** La NEMA también clasifica los generadores eléctricos por el tipo de aplicación como para todo uso, para uso definido y para uso especial. Se selecciona un **generador para todo uso**, que es de inducción de capacidad continua, factor de servicio y elevación de temperatura de acuerdo con las normas NEMA. Los generadores para todo uso se construyen en gran cantidad, en capacidades estándar, con características de operación y construcción mecánica estándar, para una amplia variedad de aplicaciones comunes.

**5.1.3 Selección por tipo eléctrico.** En los generadores trifásicos, el campo magnético rotatorio proporcionado por la potencia de ca trifásica permite medios simples y de bajo costo para construir un generador eléctrico. Se utilizan para todo uso, el caballaje varía desde  $\frac{1}{2}$  hasta 2500 o más. La corriente de arranque es baja, alrededor de 5 a 7 veces de la corriente a plena carga. Los generadores trifásicos pueden invertirse con facilidad eléctricamente, lo que los hace útiles para aplicaciones que incluyen el control de la dirección de rotación. Al seleccionar un **Generador trifásico de inducción de jaula de ardilla**, obtenemos una máquina de velocidad constante, aunque las características de operación pueden variarse en cierto grado modificando el diseño del rotor. Estas variaciones producen cambios predecibles en el par de torsión, la corriente y la velocidad a plena carga.

**5.1.4 Selección por letra de diseño.** La evolución y la normalización en la industria de los Generadores ha dado por resultado cinco tipos fundamentales de Generadores de inducción trifásicos conocidos por las letras de diseño de la NEMA A, B, C, D y F. Los generadores IHP trifásicos, de jaula de ardilla, son los generadores de ca de inducción más ampliamente utilizados en la industria. La clasificación de los requisitos de rendimiento por resultado diseños normalizados por la NEMA que satisfacen las necesidades de par de torsión, caballaje, velocidad y corriente para gran número de aplicaciones. Las características eléctricas de diseño se dan en la tabla 23.

**Cuadro 23. Características eléctricas de diseño del Generador.**

ESPECIFICACION	DESCRIPCION	No. DE CARCASA			
		56C	182TC	254TC	404TS
			215TC	365TC	449TS
<b>Voltaje</b>	220/440 V a 60 Hertz	X	X	X	X
	440 V a 60 Hertz	X	X	X	X
<b>Clasificación</b>	NEMA Diseño B	X	X	X	X
<b>Trabajo</b>	Contínuo	X	X	X	X
<b>Elev. De Temp.</b>	Clase F	X	X	X	X
<b>Aislamiento</b>	Clase H	X	X	X	X
<b>Alambres</b>	200 ° C, resistencia a la humedad	X	X	X	X
<b>Barniz</b>	Polyester fenólico clase H	X	X	X	X
<b>Aislamiento</b>	Papel parafinado	X	X	X	X
<b>Protector</b>	155 ° C, Clase F, Bimetálico	X	X	X	X
<b>Tierra</b>	Unifilar, forrado en polietileno	X	X	X	X
<b>Laminados</b>	Acero ferromagnético	X	X	X	X



Se selecciona un diseño B, ya que son Generadores para todo uso con pares de torsión de arranque y corrientes normales y pares de torsión máximos relativamente altos. El par de torsión de aceleración normalmente disponible permite la aceleración rápida hasta la velocidad de plena carga. Los generadores de diseño B son los más populares en la industria. En la tabla 24, se dan las características mecánicas de diseño del Generador.

**Cuadro 24. Características mecánicas de diseño del Generador.**

ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	No. DE CARCASA			
		56C	182TC	254TC	404TS
			215TC	365TC	449TS
<b>Carcasa</b>	Acero laminado	X			
	Hierro fundido		X	X	X
<b>Placa de fondo</b>	Aluminio con chumacera	X			
	Hierro fundido		X	X	X
<b>Chavetero</b>	Facilidad y flexibilidad de montaje	X	X	X	X
<b>Montaje</b>	Base rígida, doble agujero	X	X	X	X
<b>Cubierta</b>	TENV, no requiere ventilador	X	X		
	TEBC, para transmisión continua		X	X	X
<b>Ventilador</b>	110 V, 1 fase	X	X		
	220/440 V, 3 fases			X	X
<b>Soportes</b>	Rodamientos asegurados	X	X	X	X
<b>Drenaje</b>	Previene humedad de cond.	X	X		
<b>Ejes</b>	Acero al carbono 1035	X	X		
	Acero al carbono 1137			X	X
<b>Rotor</b>	Anillos de aluminio prensado	X	X	X	X
<b>Placa</b>	Incluye voltaje, frecuencia				
	Diagrama de conexión	X	X	X	X
	Características del ventilador				
	Velocidad máxima				
<b>Cáncamo</b>	Roscado o soldado		X	X	X
<b>Rodamientos</b>	Primera calidad, simples	X	X		

	Primera calidad, mat. antifricción			x	x
<b>Lubricante</b>	Chevron SRI o equivalente	x	x	x	x

**5.1.5 Selección por la protección contra el medio ambiente y métodos de enfriamiento.** Las dos clasificaciones generales NEMA para las carcasas de Generadores son la abierta ( O ) y la totalmente cerrada ( TE ). Una máquina abierta es la que tiene aberturas de ventilación que permiten el paso del aire externo de enfriamiento sobre y alrededor de los bobinados del generador. Una máquina totalmente cerrada está construida para evitar el libre intercambio de aire en el interior y el exterior del generador, pero no está suficientemente cerrada como para que se le denomine hermética al aire. Estas carcasas se clasifican además por el grado de protección que proporcionan

**5.1.6 Condiciones de Operación.** Los generadores de ca trifásicos a 60 Hz tienen voltajes normales de 110 ( 15 Hp y menores), 220, 440, 580, 2300, 4000, 4600 y 6600 V. Las condiciones usuales de servicio del medio son definidas por la NEMA como:

- Temperatura ambiente dentro de los límites de 32 a 105 ° F ( 0 a 40 ° C), o cuando se utiliza enfriamiento por agua, dentro de 50 a 105 ° F ( 10 a 40 ° C).
- Presión barométrica correspondiente a una altitud que no exceda 3300 ft ( 1000 m ).
- Instalación en una superficie rígida de montaje.

- Instalación en áreas o cubiertas complementarias que no interfieran seriamente con la ventilación.

Las condiciones usuales de servicio en operación son:

- Variación del voltaje hasta en un 10% del voltaje nominal.
- Variación de frecuencia no mayor del 5% por arriba o por debajo de la frecuencia nominal.
- Variación combinada de voltaje y frecuencia no mayor del 10% arriba o abajo del voltaje y frecuencia nominales.
- Transmisiones por banda en V, banda plana, cadena y de engranes, de acuerdo con las normas NEMA.

El objetivo principal por el cual se hace énfasis en el diseño del Multiplicador es el de optimizar el espacio disponible para la construcción del bulbo, el cual es el encargado de alojar al Generador que entre mayor velocidad desarrolle menor número de polos magnéticos tendrá y por lo tanto menor diámetro. Lo anterior obedeciendo a la ecuación:

$$\text{No. de Polos} = \frac{120 \text{ ( Hz )}}{\text{RPM}}$$

Donde      Hz:      Frecuencia de la corriente = 60 ciclos / sg

RPM: Velocidad de Rotación del Generador.

$$\text{No. de Polos} = \frac{120 ( 60 )}{1800}$$

$$\text{No. De Polos} = 4$$

Para mantener la frecuencia en el rango aceptable del 5%, o sea entre 57 y 63 Hz, el Generador debe girar a una velocidad entre 1710 y 1890 rpm. Los amperios requeridos para desarrollar una determinada potencia a un voltaje establecido para un generador de corriente alterna trifásico se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Amperios} = \frac{\text{Kw} \times 1000}{\sqrt{3} \times E \times \text{pf}}$$

donde Kw: Kilowatts Generados = 56

E: Voltaje Nominal = 440 V

Pf: Factor de Potencia = 0.80

$$\text{Amperios} = \frac{56\text{Kw} \times 1000}{1.7 \times 440 \times 0.80}$$

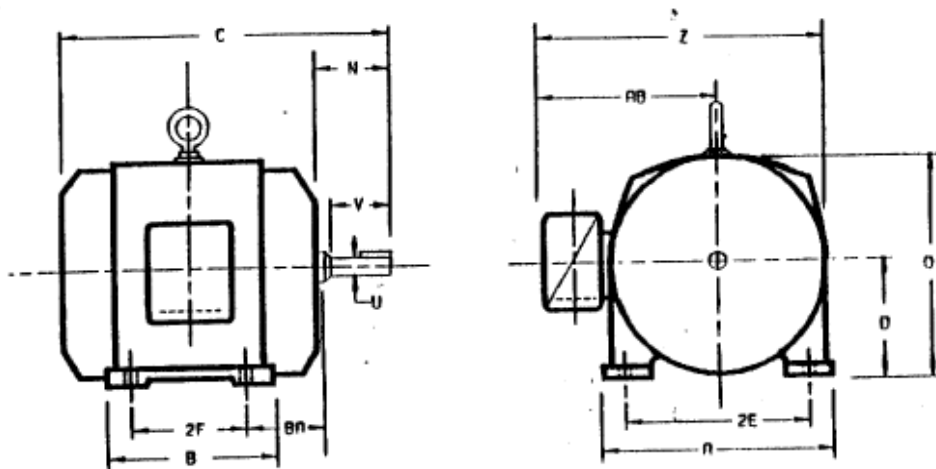
$$\text{Amperios} = 90 \text{ A}$$

En la tabla 25, se dan las capacidades nominales de fabricación. Las dimensiones típicas de acuerdo al número de carcasa se dan en la figura 24 y la tabla 26.

**Cuadro 25. Capacidades nominales de fabricación de Generadores.**

HP	RPM	No.	VENT.	440 VOLT		TORQUE – ENTRADA			MAX	% EFIC.	WK <sup>2</sup>	PESO	ROD.
	A			AMPS	F.L.	F.L.	L.R.	B.D.					
	60 Hz	NEMA		IDLE	F.L.	F.L.	L.R.	B.D.					
7.5	1800	254TC	TENV	5.2	10.0	22.5	64.5	86.5	6000	89.5	1.40	204	6208
7.5	1800	213TC	TEBC	4.6	9.8	22.5	45.0	72.0	6000	91.0	0.74	180	6206
7.5	1200	254TC	TEBC	4.5	10.2	34.5	81.0	93.2	4000	90.2	3.17	276	6208
10	1800	256TC	TENV	5.7	12.8	30.0	97	129	6000	92.4	2.11	265	6208
10	1800	215TC	TEBC	5.5	12.7	30.0	66	99	6000	91.7	1.06	210	6206
10	1200	256TC	TEBC	7.0	14.0	45.0	101	139	4000	90.2	4.12	292	6208
15	1800	254TC	TEBC	5.9	18.0	45.0	94.5	126	4000	92.4	1.77	275	6208
15	1200	284TC	TEBC	6.9	19.5	67.0	160	167	3000	91.0	6.08	415	6309
20	1800	256TC	TEBC	8.7	24.0	60.0	138	168	4000	93.0	2.29	311	6208
20	1200	286TC	TEBC	9.4	26.0	90.0	216	216	3000	91.7	7.30	463	6309
25	1800	284TC	TEBC	10.1	30.4	75.0	157.5	187.5	4000	94.1	4.03	408	6309
25	1200	324TC	TEBC	9.8	29.5	112.5	258.0	280.0	3000	93.6	10.61	573	6311
30	1800	286TC	TEBC	12.4	36.0	90.0	171	216	4000	94.1	4.67	470	6309
30	1200	326TC	TEBC	11.0	36.0	135.0	290	365	3000	93.0	11.75	609	6311
40	1800	324TC	TEBC	15.0	46.5	120.0	204	300	4000	94.5	7.83	547	6311
40	1200	364TC	TEBC	17.0	47.0	180.0	360	450	3000	94.5	16.42	815	6312
50	1800	326TC	TEBC	18.0	57.5	150.0	270	390	4000	95.0	9.72	670	6311
50	1200	365TC	TEBC	18.6	59.0	225.0	472	540	3000	95.0	19.25	837	6312
60	1800	364TC	TEBC	24	71	178.5	447	508	4000	95.0	12.22	938	6312
60	1200	404TS	TEBC	33	76	226	798	718	3000	94.1	34.69	1160	6313
75	1800	365TS	TEBC	27	86	225	616	616	4000	95.0	15.27	1018	6312
75	1200	405TS	TEBC	40	95	332	498	863	3000	94.1	40.47	1224	6313
100	1800	405TS	TEBC	27	114	300	600	660	4000	95.0	27.05	1225	6313
100	1200	444TS	TEBC	43	121	443	842	974	3000	94.5	45.28	1595	6313
125	1800	444TS	TEBC	33	142	375	713	881	4000	95.0	45.13	1600	6313
150	1800	445TS	TEBC	45	169	440	1320	1056	4000	95.0	50.77	1675	6314
200	1800	447TS	TEBC	88	215	588	1995	2164	4000	94.5	67.70	3050	6314

FUENTE: NEMA. Motors and Generators MG1-1998 Standard. Parte 4 y 11



**Figura 24. Dimensiones típicas de Generadores 180T – 449T.**

FUENTE: NEMA. Motors and Generators MG1-1998 Standard. Parte 4 y 11

**Cuadro 26. Dimensiones típicas de Generadores.**

No. NEMA	A	2E	D	O	AB	BA	Z	H (1)
182-184T	9.00	7.50	4.50	9.31	7.38	2.75	11.88	
213-215T	10.50	8.50	5.25	10.75	8.19	3.50	13.50	0.44
254-256T	12.50	10.00	6.25	12.56	10.19	4.25	16.45	0.56
284-286T	14.00	11.00	7.00	14.31	12.19	4.75	19.25	0.56
324-326T	15.75	12.50	8.00	16.10	14.25	5.25	22.46	0.56
364-365T	17.00	14.00	9.00	18.30	18.06	5.88	27.84	0.69
404-405T	19.00	16.00	10.00	20.56	19.06	6.62	29.97	0.81
444-445T	21.00	18.00	11.00	22.94	22.62	7.50	34.43	0.81
447-449T	21.00	18.00	11.00	24.25	22.75	7.50	34.88	0.81

No. NEMA	C	B	2F	N	U	V	KEY	
							Sq.	Lgth.
182T	12.56	6.00	4.50	3.00	1.125	2.50	0.250	1.75
L182T	14.06	6.00	4.50	3.00	1.125	2.50	0.250	1.75
184T	13.56	7.00	5.50	3.00	1.125	2.50	0.250	1.75
L184T	15.06	7.00	5.50	3.00	1.125	2.50	0.250	1.75
213T	15.69	7.00	5.50	3.62	1.375	3.12	0.312	2.38
L213T	17.44	7.00	5.50	3.62	1.375	3.12	0.312	2.38
215T	17.19	8.50	7.00	3.62	1.375	3.12	0.312	2.38
L215T	18.06	8.50	7.00	3.62	1.375	3.12	0.312	2.38
254T	20.69	11.25	8.25	4.25	1.625	3.75	0.375	2.88
256T	22.44	11.50	10.00	4.25	1.625	3.75	0.375	2.88
284T	23.38	11.50	9.50	4.88	1.875	4.38	0.500	3.25

284TS	22.00	11.50	9.50	3.50	1.625	3.00	0.375	1.88
286T	24.88	13.00	11.00	4.88	1.875	4.38	0.500	3.25
286TS	23.50	13.00	11.00	3.50	1.625	3.00	0.375	1.88
324T	27.56	14.00	10.50	5.50	2.125	5.00	0.500	3.75
324TS	26.06	14.00	10.50	4.00	1.875	3.50	0.500	2.00
326T	27.56	14.00	12.00	5.50	2.125	5.00	0.500	3.75
326TS	26.06	14.00	12.00	4.00	1.875	3.50	0.500	2.00
364T	29.70	14.25	11.25	6.12	2.375	5.62	0.625	4.25
364TS	27.58	14.25	11.25	4.00	1.875	3.50	0.500	2.00
365T	29.70	14.25	12.25	6.12	2.375	5.62	0.625	4.25
365TS	27.58	14.25	12.25	4.00	1.875	3.50	0.500	2.00
404T	34.00	16.00	12.25	7.62	2.875	7.00	0.750	5.50
404TS	31.00	16.00	12.25	4.62	2.125	4.00	0.500	2.75
405T	34.00	16.00	13.75	7.62	2.875	7.00	0.750	5.50
405TS	31.00	16.00	13.75	4.62	2.125	4.00	0.500	2.75
444T	37.56	17.00	14.50	8.94	3.375	8.25	0.875	6.00
444TS	33.81	17.00	14.50	5.19	2.375	4.50	0.625	3.00
445T	39.56	19.00	16.50	8.94	3.375	8.25	0.875	6.00
445TS	35.81	19.00	16.50	5.19	2.375	4.50	0.625	3.00
447TS	39.31	22.50	20.00	5.19	2.375	4.50	0.625	3.00
449TS	44.31	27.50	25.00	5.19	2.375	4.50	0.625	3.00

FUENTE: NEMA. Motors and Generators MG1-1998 Standard. Parte 4 y 11

## 5.2 DISTRIBUCION Y CONTROL DE LA POTENCIA ELECTRICA

Desde el punto de servicio al lugar de uso, la potencia eléctrica se dirige, protege y modifica por segmentos del sistema cuya función, comportamiento y eficiencia son vitales para el equipo que va a utilizarla.

La corriente alterna es la que pasa a través de una sucesión regular de valores cambiantes de positivo a negativo por inversión periódica de su dirección de flujo. Los valores totales positivo y negativo de corriente son iguales. Los suministros de potencia de ca más comunes tienen una frecuencia de 60 ciclos por segundo (cps), ó 60 Hz. Un ciclo cubre un período definido de tiempo y se completa en 360 ° de la rotación de la armadura del generador.

La resistencia se opone al flujo en un circuito de ca, y así lo hacen otras dos cualidades: reactancia por la inductancia y capacitancia del circuito. Conforme un voltaje alterno sube y baja, el amperaje de un circuito de ca también sube y baja. Si el circuito contiene solamente resistencia, los ciclos de voltaje y corriente están “en fase”; tanto el voltaje como la corriente suben y bajan al mismo tiempo.

La inductancia se produce típicamente cuando se conecta una bobina de alambre en un circuito de ca, y se opone a los cambios en el flujo de corriente conforme el voltaje cambia durante el ciclo, causando que el voltaje y la corriente estén fuera de fase.

La capacitancia se produce normalmente cuando se inserta un capacitor o condensador en un circuito de ca. Un capacitor o condensador también se opone a los cambios de voltaje producidos por un generador. Como resultado, el voltaje y la corriente se salen de fase, pero en una dirección que es opuesta a la causada por una inductancia.

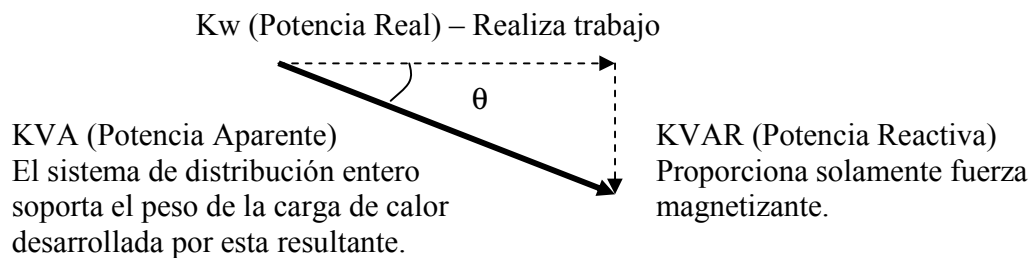
En un circuito puramente inductivo, el voltaje precede a la corriente por  $90^\circ$ . En un circuito puramente capacitivo, el voltaje se atraza respecto a la corriente por  $90^\circ$ , ya que todos los circuitos contienen resistencia, la oposición total al flujo de la corriente de ca depende de la suma vectorial de la resistencia, reactancia inductiva y reactancia capacitiva en el circuito. Esta suma vectorial se llama impedancia y se mide en Ohms. La ley de Ohm puede aplicarse a los circuitos de ca sustituyendo la impedancia por resistencia:



$$I = \frac{E}{Z}$$

donde I es la corriente, E está en Volts, y Z es la impedancia en Ohms. En los circuitos de cc, la potencia en Watts es simplemente el voltaje multiplicado por la corriente,  $P = EI$ .

Cuando se utiliza la corriente de ca para operar un dispositivo magnético, la corriente se atraza respecto al voltaje creando una relación fuera de fase. El coseno del ángulo entre la corriente y el voltaje se conoce como factor de potencia. Es una medida de la potencia reactiva que produce calor adicional en los componentes del sistema eléctrico, pero no lleva a cabo trabajo real, esto se aprecia en la figura 25.



**Figura 25. Relaciones del factor de Potencia.**

**5.2.1 Cableado.** El alambre y el cable utilizados para la distribución de potencia consisten en un medio conductor usualmente encerrado dentro de una vaina aislante y algunas veces con protección adicional mediante una camisa exterior. El medio conductor suele ser cobre o aluminio. El medio aislante puede hacerse de cualquiera de los materiales adecuados dependiendo de las características ambientales en las cuales se va a aplicar el alambre. Los diversos materiales aislantes se definen y describen por el National Electrical Code. El método de protección del cable, Conduit, charola de cable, o desnudo expuesto, depende de muchas consideraciones de diseño ( tabla 27). Los cables no requieren mantenimiento básico a excepción de asegurarse de que no se aplican mas allá de su ampacidad. Las ampacidades de cable y alambre se publican en el National Electrical Code, y por los fabricantes de cables.

Todos los cables utilizados para empleo eléctrico normal se dimensionan de acuerdo con el American Wire Gauge ( AWG) ó en mils circulares ( MCM). En la tabla tabla 28, se expresan las capacidades de transporte de corriente para cables eléctricos estándar.

**Cuadro 27. Instalación de ductos eléctricos.**

Tamaño AWG	Número máximo de conductores que se pueden alojar dentro de la tubería Conduit RALCO PVC.							
	½"	¾"	1"	1 ¼"	1 ½"	2"	2 ½"	3"
18	7	12	20	35	49	80	115	176
16	6	10	17	30	41	68	98	150
14	4	6	10	18	25	41	58	90
12	3	5	8	15	21	34	50	76
10	1	4	7	13	17	29	41	64
8	1	3	4	7	10	17	25	38
6	1	1	3	4	6	10	15	23
4	1	1	1	3	5	8	12	18

FUENTE: RALCO PVC. Guía de Productos

**Cuadro 28. Capacidades de transporte de corriente permisible de los conductores de cobre aislados, expresadas en amperios. ( Conductos simples al aire libre, temperatura ambiente de 30 ° C).**

Calibre ( mm )		Goma R, RW, RU Termoplástico T, TW, a 60 ° C		Goma RH, RUH Termoplástico RHW, THW, THWN a 75 ° C		Papel a 85 ° C Termoplástico y Asbesto.		Conductores Desnudos y Cubiertos a 125 ° C	
AWG	MCM								
(1.6) 14	(14) 250	20	340	20	405	30	425	30	410
(2) 12	(16) 300	25	375	25	445	40	480	40	460
(2.5) 10	(17) 350	40	420	40	505	55	530	55	510
(3.2) 8	(18) 400	55	455	65	545	70	575	70	555
(4) 6	(20) 500	80	515	95	620	100	660	100	630
(5) 4	(22) 600	105	575	125	690	135	740	130	710
(6) 3	(24) 700	120	630	145	755	155	815	150	780
(7) 2	(25) 750	140	655	170	785	180	845	175	810
(8) 1	(26) 800	165	680	195	815	210	880	205	845
(9) 0	(27) 900	195	730	230	870	245	940	235	905
(10) 00	(29) 1000	225	780	265	935	285	1000	275	965
(11) 000	(32) 1250	260	890	310	1065	330	1130	320	1080
(13) 0000	(35) 1500	300	980	360	1175	385	1260	370	1215

FUENTE: RALCO PVC. Guía de Productos

**5.2.2 Transformador para circuitos de control, iluminación y accesorios.** Los transformadores hacen posible el uso de altos voltajes de distribución y utilización que se encuentran en los sistemas eléctricos industriales. Se emplean para transformar un voltaje primario a un segundo nivel primario ( 66000 / 13200 V), para pasar del primario al voltaje secundario ( 13200 / 440 V), y para pasar un voltaje secundario de distribución a un nivel secundario de utilización ( 440 / 220 – 110 V). Los transformadores de propósito general son unidades de tipo seco con capacidad de 600 V o menos, se emplean para bajar un voltaje secundario de distribución a un nivel de utilización ( 110 ó 220 V), para servir a las cargas de alumbrado y artefactos domésticos; también se llaman transformadores de Potencia General y alumbrado, ó transformadores de alumbrado. La placa nominal de un

transformador indica su capacidad en KVA, y están disponibles en unidades suspendidas en el techo o instaladas en el piso.

Los transformadores de tipo seco pueden subclasificarse como ventilados o sellados y llenos con gas, incluyen los de tipo autoenfriado así como con ventilación forzada (enfriamiento con ventilador) para una elevación especificada de temperatura.

La impedancia de un transformador se opone al flujo de la corriente a través de él con el secundario en corto circuito. La impedancia se expresa con el porcentaje del voltaje primario nominal normal que debe aplicarse para causar que fluya la corriente a plena carga en el secundario en corto circuito.

Si un transformador de 440 / 110 V tiene una impedancia nominal al 5%, significa que el 5% de 440 V ó 22 V deben aplicarse al primario para ocasionar que la corriente de carga nominal fluya en el secundario en corto circuito. Cuanto más baja sea la impedancia de un transformador, más alta será la corriente de corto circuito que puede suministrar. Los valores de impedancia de los transformadores de propósito general varían generalmente entre 3 y 6 %.

La ecuación general de voltaje para un transformador está dada por:

$$V = - \int \frac{\partial B}{\partial t} dS$$

Por ser un circuito puramente inductivo, la corriente se atrasa respecto al voltaje, lo cual el campo magnético sufre un efecto sinusoidal debido a la corriente alterna.

$$B = B_0 \cos \omega t$$

donde B = Densidad de flujo magnético, Tesla  
 $B_0$  = Amplitud máxima de B, Tesla  
 $\omega$  =  $2\pi f$  [ rad / s ]  
 $f$  = Frecuencia, Hz  
 $t$  = Tiempo, sg

La derivada parcial de la densidad de flujo con respecto al tiempo es:

$$\frac{\partial B}{\partial t} = -\omega B_0 \sin \omega t$$

Reemplazando en la ecuación general del transformador tenemos:

$$V = - \int \frac{\partial B}{\partial t} dS = A \omega B_0 \sin \omega t$$

La amplitud máxima de la densidad de flujo magnético se define por:

$$B_0 = \mu \frac{N I}{L}$$

donde  $\mu = \mu_r \mu_0$  = Permeabilidad,  $\text{Hm}^{-1}$   
 $\mu_r$  = Permeabilidad relativa, adimensional  
 $\mu_0$  = Permeabilidad del vacío =  $400\pi \text{ nHm}^{-1}$   
 $N$  = Número de vueltas de la bobina  
 $I$  = Corriente, A  
 $L$  = Longitud del Hierro, m

Nuevamente reemplazamos en la ecuación general del transformador y obtenemos:

$$V = A \omega \mu \frac{N I}{L} \sin \omega t$$

El área de sección del hierro es  $A = 0.05 \text{ m} \times 0.07 \text{ m} = 0.0035 \text{ m}^2$

$$\omega = 2 \pi f = 2 \times \pi \times 60 \text{ Hz} = 377 \text{ rad/s}$$

$$\mu = \mu_r \mu_o$$

$$\mu_r \text{ Hierro fundido (0.2 Impureza)} = 5000$$

$$\mu_o = 400\pi \text{ nHm}^{-1}$$

$$\mu = 5000 \times 400 \pi \times 1 \times 10^{-9} = 0.0063 \text{ Hm}^{-1}$$

Un estandar de construcción para transformadores de propósito general es de seis vueltas por voltio, entonces:

$$N = 440 \text{ Voltios} \times 6 \text{ Vueltas / Voltio} = 2640 \approx 2700 \text{ Vueltas}$$

El consumo de potencia de los circuitos de control, iluminación y accesorios, se estima en 6000 W, por lo tanto:

$$\text{Potencia por fase } P_f = \frac{P_{\text{nominal}}}{\sqrt{3}} = \frac{6000 \text{ W}}{\sqrt{3}} = 3464.1 \text{ W / Fase}$$

$$\text{Corriente por fase } I_f = \frac{P_f}{V_f} = \frac{3464.1 \text{ W}}{440} = 7.87 \text{ Amperios / Fase}$$

El voltaje máximo se obtiene cuando  $\omega t = \pi / 2, 3\pi / 2$  en cada ciclo.

$$V_{\max} = A \omega \mu \frac{N^2 I^2}{L}$$

$$L = A \omega \mu \frac{N I}{V_{\max}}$$

$$L = 0.0035 \text{ m}^2 \times 377 \text{ rad/s} \times 0.0063 \text{ Hm}^{-1} \times \frac{2700 \text{ Vueltas} \times 7 \text{ Amperios}}{440 \text{ Voltios}}$$

$$\text{Longitud del hierro } L = 0.357 \text{ m}$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \rightarrow N_s = N_p \frac{V_s}{V_p} = 2700 \frac{110}{440} = 675 \text{ Vueltas}$$

$$V_p I_p = V_s I_s \rightarrow I_s = I_p \frac{V_p}{V_s} = 7 \times \frac{440}{110} = 28 \text{ Amperios}$$

**5.2.3 Dispositivos eléctricos de control.** Los tableros de interruptores y los circuitos de control incluyen colectores, conductores, dispositivos de control, dispositivos de protección, circuitos de interrupción, dispositivos de interrupción, alambrados de interconexión, accesorios, estructuras de soporte y envolventes.

Los **interruptores de protección** se utilizan en instalaciones de corriente alterna trifásica y monofásica para la protección contra sobrecarga y cortocircuito de distribuciones. Gracias a su forma constructiva compacta y a sus reducidas dimensiones, los interruptores de

protección son especialmente apropiados para montaje en centros de carga, tableros de maniobra y cajas de distinto tipo.

Comparándolos con la protección contra sobrecorriente y cortocircuito mediante fusibles, los interruptores poseen la ventaja de desconectar las tres fases y poderse reconectar. Se diseñan para instalación en recintos cerrados sin condiciones de servicio adversas debidas al polvo, vapores cáusticos o gases agresivos; también son resistentes a los efectos del clima. Se selecciona para la protección del circuito de distribución, interruptores de protección **SIEMENS TIPO 3VQ**; el catálogo de selección se muestra en el anexo V.

Los **contactores auxiliares** se emplean en las siguientes ocasiones:

- Cuando hay que multiplicar la función de un emisor de señales.
  
- Cuando la capacidad de corriente de un emisor de señales, por ejemplo, interruptor de posición, relé de protección o emisor electrónico, no es suficiente para conectar el aparato principal
  
- Cuando la cantidad de contactos auxiliares de un interruptor principal ( contactor, interruptor de protección), no alcanza para los fines de enclavamiento y secuencia

Los contactores auxiliares se conectan y desconectan por control remoto aplicando o nó tensión a las bobinas del electroimán, mediante aparatos instalados por separado, tales



como: pulsadores de mando, interruptores de posición, etc ( contacto de corta duración), o interruptores de mando, termostatos, presóstatos, interruptores de flotador, etc ( contacto permanente). Se selecciona para la protección contra caídas de fase y distribución de señales de control, contactores principales tripolares **SIEMENS TIPO 3TF** y contactores auxiliares **SIEMENS TIPO 3TH8**; el catálogo de selección se muestra en el anexo W.

Los **relés de tiempo** se emplean para todos los procesos con retardo de maniobra que se verifiquen en circuitos de mando, arranque, protección y regulación. Son apropiados para excitación permanente. Se selecciona para el control de restablecimiento de potencia, relés de **tiempo SIEMENS TIPOS 7PR, 7PU y 7PX**; el catálogo de selección se muestra en el anexo X.

Los circuitos de distribución y control deben ser accionados por medio de conmutadores, transformadores de intensidad – baja tensión, aparatos de mando y señalización ( pulsadores, muletillas, lámparas); además, monitoreados por medio de voltímetros, amperímetros, frecuencímetros, etc. Todos los anteriores elementos se instalan adecuadamente en cajas metálicas especialmente acondicionadas para soportarlos. En la tabla 29 se muestra la simbología eléctrica de los anteriores elementos.

#### **Cuadro 29. Simbología Eléctrica**

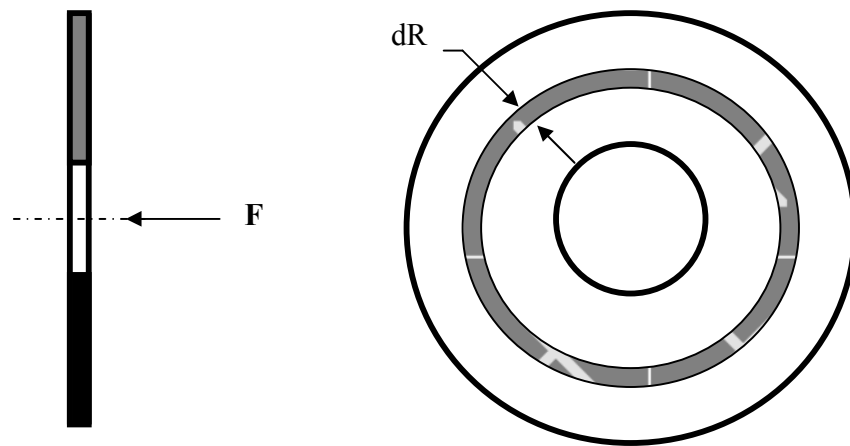
	Interrupor automático del tipo desmontable		Reactor de núcleo no magnético
	Interrupor automático de circuito sumergido en aceite del tipo no desmontable		Reactor de núcleo magnético
	Interrupor automático de circuito al aire del tipo desmontable		Transformador de potencia
	Interrupor automático de circuito al aire del tipo no desmontable y disparo por bobina en serie		Transformador trifásico de potencia conectado en delta-estrella
	Arrancador magnético		Δ delta
	Interrupor automático limitador de corriente del tipo desmontable		Y estrella
	Fusible desconectador no desmontable		Transformador de corriente con amperímetro. La letra indica el tipo de instrumento
	Fusible desmontable		Relevadores conectados a los PT & CT. El número indica la función del tipo de relevador
	Interrupor desconectador con fusible		Motor de inducción
	Interrupor de seccionamiento del tipo no desmontable		Motor síncrono (o síncronico)
	Interrupor de seccionamiento del tipo desmontable		Elemento térmico
	Transformador de corriente		Tierra
	Transformador de potencial		Sobrecorriente
	Terminador de cable		Diferencial
	Tierra		
	Pararrayos		
	Capacitor de compensación o sobrecarga		
	Batería		
	Contacto		
	Conmutador de transferencia de instrumento — La letra indica el tipo		
			Interrupor automático de circuito sin corriente del tipo removible
			Posición futura de interrupor automático del tipo removible

FUENTE: MC GRAW HILL. Manual de Mantenimiento Industrial Tomo I

## 6. EMBRAGUE ELECTROMECHANICO

Un embrague de conexión axial es aquel en que los elementos friccionantes se mueven en dirección paralela al eje de rotación. El embrague de discos emplea una o más placas circulares como elementos de operación. Las ventajas de este embrague incluyen la

eliminación de los efectos centrífugos, la gran superficie friccionante que puede instalarse en un pequeño espacio, superficies disipadoras de calor más eficaces y una favorable distribución de la presión.



**Figura 26. Elemento considerado en un disco de fricción.**

## **6.1 MATERIALES DE FRICCIÓN**

Un material para la fricción a usar en un embrague debe tener las siguientes características hasta un grado que depende de la severidad del servicio:

- Coeficiente de fricción alto y uniforme
- Inalterabilidad por las condiciones ambientales, como la humedad

- Capacidad para resistir temperaturas altas, junto con una buena conductividad térmica
- Resiliencia suficiente
- Alta resistencia al desgaste, el rayado o la raspadura

**Cuadro 30. Materiales de fricción para embragues.**

Material	Coeficiente de fricción		Temp. Max. ° C	Presión máx. KPa	Vel. máx m / s
	En húmedo	En seco			
Hierro fundido / Hierro	0.05	0.15 – 0.2	320	1000 – 1750	38
Metal pulverizado / Hierro	0.05 - 0.1	0.1 – 0.4	540	1000	25
Metal pulverizado / Acero	0.05 – 0.1	0.1 – 0.3	540	2100	25
Madera / Acero	0.16	0.2 – 0.35	150	400 – 620	25
Cuero / Acero	0.12	0.3 – 0.5	100	70 – 280	25
Corcho / Acero	0.15 – 0.25	0.3 – 0.5	100	50 – 100	25
Fieltro / Acero	0.18	0.22	140	35 – 70	25
Asbesto tramado / Acero	0.1 – 0.2	0.3 – 0.6	175 – 260	350 – 700	38
Asbesto moldeado / Acero	0.08 – 0.12	0.2 – 0.5	260	350 – 1000	25
Asbesto impregnado / Acero	0.12	0.32	260 – 400	1000	38
Grafito / Acero	0.05 – 0.1	0.25	370 - 540	2100	38

FUENTE: SHIGLEY, Joseph. Diseño en Ingeniería Mecánica

La tabla 30 presenta una amplia variedad de materiales de fricción para embragues, junto con algunas de sus propiedades. Un cierto número de estos materiales puede trabajar en condiciones de humedad, haciendo que se sumerjan en aceite o sean rociados con este. Lo anterior reduce algo el coeficiente de fricción, pero elimina mas calor y permite que se utilicen presiones más altas.

## 6.2 MOMENTO DE FRICCIÓN

Se supone una presión uniforme sobre el área del disco, la fuerza F es simplemente el producto de la presión y el área. Esto da:

$$F = \frac{\pi P a}{4} [D^2 - d^2]$$

El momento se obtiene integrando el producto de la fuerza friccionante y el radio.

$$T = 2 \pi f P \int r^2 dR = \frac{2 \pi f P}{24} (D^3 - d^3)$$

Como  $P = Pa$ , la ecuación anterior se puede escribir como

$$T = \frac{F f}{3} \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}$$

Este momento de fricción corresponde sólo a un par de superficies de contacto, debe multiplicarse por el número de pares de superficies en contacto. La fórmula utilizada normalmente por los fabricantes es:

$$T = \frac{726 \text{ HP}}{N} \quad [ \text{Kg} \cdot \text{m} ]$$

donde T = Momento de Fricción, Kg . m  
 HP = Capacidad en Hp.  
 N = Velocidad, rpm

La potencia de diseño es:

$$P_d = 75 \text{ Hp} \times 1.25$$

$$P_d = 93.75 \text{ Hp}$$

$$T = \frac{726 \text{ Hp}}{N} = \frac{726 (94)}{1710} = 40 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

Expresando las ecuaciones anteriores en función de la presión tenemos:

$$P = \frac{24 T_f}{2 \pi [D^3 - d^3] \times f} = \frac{24 T_f}{2 \pi [0.3^3 - 0.1^3] \times 0.5} = 115 \text{ KPa}$$

### 6.3 CONSIDERACIONES DE ENERGIA

Cuando las masas móviles están en movimiento relativo y son acopladas entre sí, debe ocurrir deslizamiento en el embrague hasta que estos alcancen la misma velocidad del mecanismo impulsor, en este caso la turbina.

Se absorbe energía cinética durante el resbalamiento, y dicha energía se transforma en calor. La capacidad de momento torsional depende del coeficiente de fricción del material y de un valor seguro de la presión normal. Sin embargo, el carácter de la carga puede ser tal que, si se permite que actúe ese valor del momento, el embrague puede quedar destruido por el propio calor generado en él. La capacidad de un embrague está limitada por dos

factores: las características del material y la aptitud del embrague para disipar calor. Si el calor es generado con más rapidez que con la que se disipa, se tiene un problema de calentamiento o elevación de la temperatura.

En un sistema compuesto por dos elementos inerciales conectados por un embrague, las inercias  $I_1$  e  $I_2$  tienen las velocidades angulares iniciales  $\omega_1$  y  $\omega_2$ , respectivamente. Durante la operación de embragado ambas velocidades cambian y, finalmente se igualan. Se supone que los dos ejes son rígidos y que el momento de torsión del embrague es constante. La ecuación de movimiento para la inercia 1 es:

$$I_1 \theta_1 = - T$$

donde  $\theta$  es la aceleración angular de  $I_1$ , y  $T$  es el momento de torsión del embrague.

La ecuación de movimiento para la inercia 2 es:

$$I_2 \theta_2 = T$$

Es posible determinar las velocidades angulares instantáneas  $\theta_1$  y  $\theta_2$  de  $I_1$  y  $I_2$  después de que ha transcurrido un tiempo  $t$ , integrando las ecuaciones anteriores:

$$\theta_1 = - \frac{T}{I_1} t + \omega_1$$

$$\theta_2 = - \frac{T}{I_2} t + \omega_2$$

La diferencia de velocidades, llamada algunas veces velocidad relativa, es:

$$\theta = \theta_1 - \theta_2 = - \frac{T}{I_1} t + \omega_1 - \left( - \frac{T}{I_2} t + \omega_2 \right)$$

$$\theta = \theta_1 - \theta_2 = \omega_1 - \omega_2 - T \left( \frac{I_1 + I_2}{I_1 I_2} \right) t$$

La operación de embragado termina en el momento en que las dos velocidades angulares  $\theta_1$  y  $\theta_2$  son iguales.

Sea  $t_1$  el tiempo requerido para la operación total. Luego  $\theta = 0$  cuando  $\theta_1 = \theta_2$ , y así la ecuación anterior da el valor del tiempo como:

$$t_1 = \frac{I_1 I_2 (\omega_1 - \omega_2)}{T (I_1 + I_2)} = \frac{0.644 (198 - 179)}{2 (32)} = 0.19 \text{ sg}$$

Esta ecuación indica que el tiempo necesario para la operación de conexión es directamente proporcional a la diferencia de velocidad e inversamente proporcional al momento de torsión.



La rapidez o intensidad de disipación de calor durante el funcionamiento del embrague es:

$$\mu = T \theta = T \left[ \omega_1 - \omega_2 - T \left( \frac{I_1 + I_2}{I_1 I_2} \right) t \right]$$

Esta ecuación indica que la disipación de la energía es mayor al inicio de la acción, cuando  $t = 0$ . La energía total disipada durante el ciclo de operación de un embrague se obtiene integrando la ecuación anterior desde  $t = 0$  hasta  $t = t_1$ . El resultado es:

$$E = \int \mu dt = T \int \left[ \omega_1 - \omega_2 - T \left( \frac{I_1 + I_2}{I_1 I_2} \right) t \right] dt$$

$$E = \frac{I_1 I_2 (\omega_1 - \omega_2)^2}{2 (I_1 + I_2)} = \frac{0.644 (198 - 179)^2}{4} = 58 \text{ N} \cdot \text{m}$$

La energía disipada es proporcional al cuadrado de la diferencia de velocidad y es independiente del momento de torsión del embrague.

#### 6.4 ELEVACION DE TEMPERATURA

La elevación de la temperatura del conjunto de un embrague o freno puede evaluarse aproximadamente por la expresión:

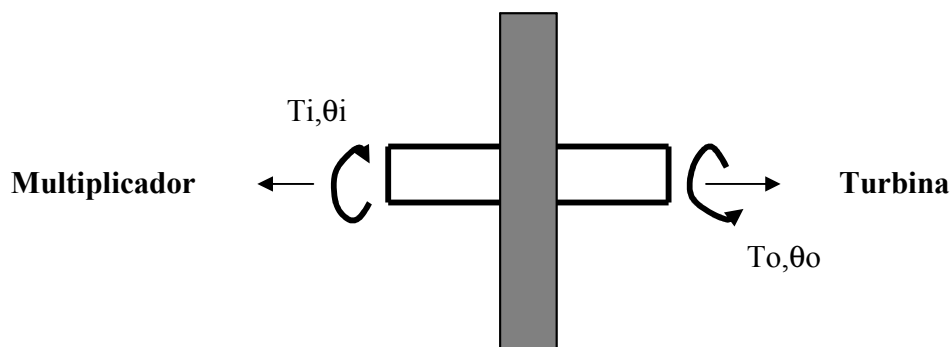
$$\Delta T = \frac{E}{C m}$$

donde  $\Delta T$  = Elevación de temperatura, ° C  
 $C$  = Calor específico; utilícese 500 J / Kg . ° C para acero.  
 $m$  = masa de todas las piezas del embrague, Kg

$$\Delta T = \frac{E}{C m} = \frac{58 \text{ Joules}}{500 \text{ Joule} / (\text{Kg} \cdot ^\circ \text{C}) \times 3 \text{ Kg}} = 0.03 ^\circ \text{C}$$

## 6.5 DISEÑO DEL VOLANTE

Un volante es un dispositivo rotatorio que almacena energía cinética por efecto de Inercia. Absorbe energía mecánica cuando se incrementa su velocidad angular, y libera energía al disminuir su velocidad de rotación.



**Figura 27. Diagrama de Cuerpo Libre – Volante.**

En la figura 27, un momento de rotación entrante o aplicado  $T_o$ , que corresponde a una coordenada  $\theta_o$ , originará un incremento en la velocidad del volante. Y un momento de torsión saliente o de carga  $T_i$ , correspondiente a la coordenada  $\theta_i$ , absorberá energía del volante y hará que se desacelere o pierda velocidad. El volante se destina para obtener un valor especificado de regulación de velocidad.

La ecuación de movimiento para el volante es:

$$\sum M = T_o (\theta_o, \theta_o) - T_i (\theta_i, \theta_i) - I \ddot{\theta} = 0$$

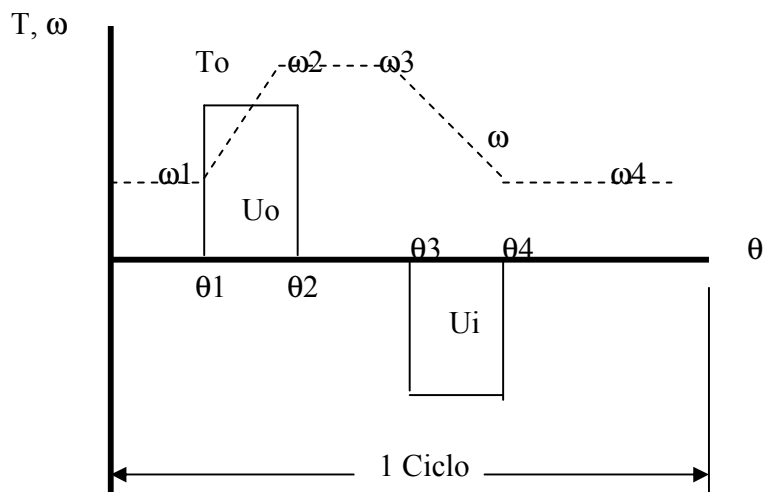
$$I \ddot{\theta} = T_o (\theta_o, \theta_o) - T_i (\theta_i, \theta_i)$$

Si se tiene un eje rígido

$$I \ddot{\theta} = T_o (\theta_o, \theta_o) - T_i (\theta_i, \theta_i)$$

Cuando se conocen las dos funciones de momento torsional y se dan los valores iniciales del desplazamiento  $\theta$  y la velocidad  $\omega$  la ecuación anterior puede ser resuelta para determinar  $\omega$  y  $\theta$  como funciones del tiempo. En el diseño se desea apreciar el funcionamiento global del volante:

- Cual debe ser su momento de inercia?
- Como han de conectarse la fuente de potencia motriz y la carga?
- Cuales son las características de funcionamiento resultantes para el sistema que se ha seleccionado?



**Figura 28. Ciclo de operación Embrague – Volante.**

En la figura 28, se muestra el comportamiento de la energía transmitida al sistema. La turbina mediante el embrague electromecánico somete al volante a la acción de un momento constante  $T_o$ , mientras el eje gira desde  $\theta_1$  hasta  $\theta_2$ . Este es un momento rotacional positivo y se grafica hacia arriba. Una aceleración positiva  $\theta$  será el resultado, y así la velocidad del eje aumenta de  $\omega_1$  a  $\omega_2$ . Como se indica, el eje gira ahora de  $\theta_2$  a  $\theta_3$  con momento nulo y, en consecuencia, con aceleración cero. Por consiguiente,  $\omega_3 = \omega_2$ . Luego se aplica una carga, o momento torsional de salida, de magnitud constante, de  $\theta_3$  a  $\theta_4$ , originando que el eje se desacelere de  $\omega_3$  a  $\omega_4$ . El momento de salida se grafica en dirección negativa.

El trabajo de entrada al volante es el área del rectángulo comprendido entre  $\theta_1$  y  $\theta_2$ .

$$U_o = T_o ( \theta_2 - \theta_1 )$$

El trabajo de salida del volante es el área del rectángulo comprendido entre  $\theta_3$  y  $\theta_4$ .

$$U_i = T_i ( \theta_4 - \theta_3 )$$

Si  $U_i$  es mayor que  $U_o$ , la carga emplea mayor cantidad de energía que la que ha sido entregada al volante, y así  $\omega_4$  será menor que  $\omega_1$ . Si  $U_c = U_i$ ,  $\omega_4$  será igual a  $\omega_1$ , porque la ganancia y la pérdida son iguales.

En función de la energía cinética, estas expresiones se convierten:

$$E_1 = \frac{1}{2} I \omega_1^2 ( \theta = \theta_1 )$$

$$E_2 = \frac{1}{2} I \omega_2^2 \quad (\theta = \theta_2)$$

En consecuencia, el cambio de energía cinética es

$$E_2 - E_1 = \frac{1}{2} I (\omega_2^2 - \omega_1^2)$$

Es conveniente definir un coeficiente de fluctuación de velocidad como

$$C_s = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega}$$

donde 
$$\omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$$

$$E_2 - E_1 = \frac{1}{2} I (\omega_2 - \omega_1) (\omega_1 + \omega_2)$$

$$\omega_2 - \omega_1 = C_s \omega \quad \text{y} \quad \omega_1 + \omega_2 = 2 \omega$$

$$E_2 - E_1 = C_s I \omega^2$$

La ecuación anterior permite obtener una inercia de volante apropiada, en correspondencia con el cambio de energía  $E_2 - E_1$ . La variación de frecuencia admisible del generador está entre 57 y 63 Hz, correspondiente a velocidades entre 1710 y 1890 rpm (179 – 198 rad/sg).

Los valores del torque transmitido entre esas velocidades es:

$$\text{TORQUE} = \frac{\text{POTENCIA}}{\omega} = \frac{62 \text{ kW}}{\omega} = (313.3 - 346.3 \text{ N} - \text{m})$$

VELOCIDAD 179 - 198 rad/sg

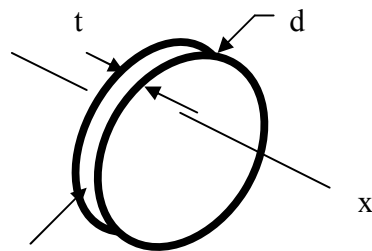
$$E2 - E1 = T2 - T1 = 346.3 - 313.1 = 33.24 \text{ N - m}$$

$$\omega = \frac{\omega1 + \omega2}{2} = \frac{179 + 198}{2} = 188.5 \text{ rad/sg}$$

$$Cs = \frac{\omega2 - \omega1}{\omega} = \frac{198 - 179}{188.5} = 0.1008$$

$$I = \frac{E2 - E1}{Cs \omega^2} = \frac{33.24 \text{ N - m}}{0.1008 \times 188.5^2} = 0.0093 \text{ Kg . m}^2$$

Se asume que la inercia del Generador es contrarrestada por las pérdidas mecánicas del multiplicador de velocidad. Para un disco circular:



$$Ix = \frac{m d^2}{8}$$
$$m = \frac{\pi d^2 t \rho}{4}$$
$$Ix = \frac{\pi d^4 t \rho}{32}$$

Utilizamos un factor de proporción f para definir el espesor del volante, la ecuación para determinar el diámetro queda así:

$$Ix = 0.0982 \rho f d^5$$

I

$$d = \sqrt[5]{\frac{I}{0.0982 \rho f}}$$

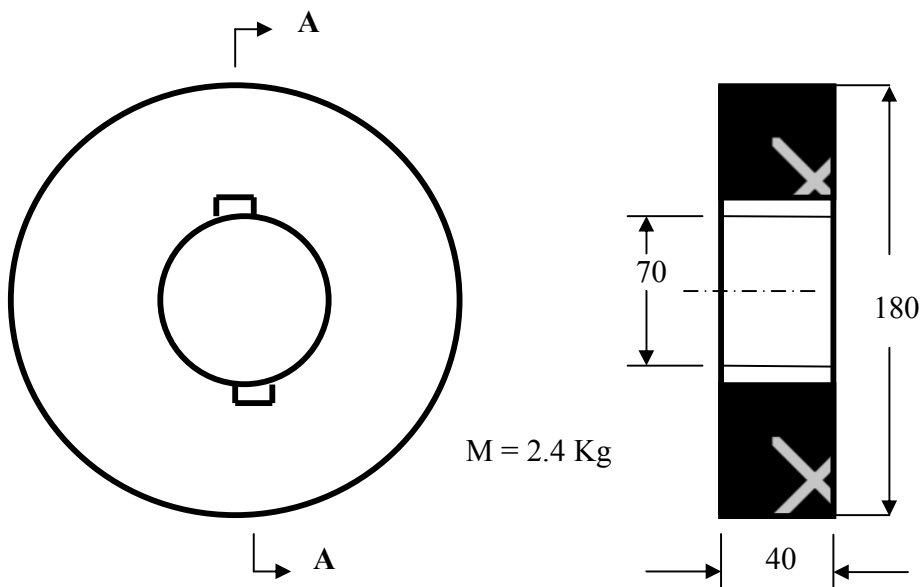
donde  $d$  = diámetro del volante, m  
 $I$  = Momento de Inercia,  $\text{Kg.m}^2$   
 $\rho$  = Densidad,  $\text{Kg/m}^3$   
 $f$  = Factor de proporción, ( 0.15 – 0.40 )

De las ecuaciones anteriores deducimos la tabla 31.

**Cuadro 31. Selección del Volante.**

Material	Acero $\rho = 7860 \text{ Kg/m}^3$				Hierro Fundido $\rho = 7300 \text{ Kg/m}^3$				Aluminio $\rho = 2800 \text{ Kg/m}^3$			
	0.15	0.2	0.3	0.4	0.15	0.2	0.3	0.4	0.15	0.2	0.3	0.4
Factor f	0.15	0.2	0.3	0.4	0.15	0.2	0.3	0.4	0.15	0.2	0.3	0.4
Diámetro ( mm)	151.7	143.2	132	125	154	145	134	126.5	186	176	162.3	153
Espesor ( mm)	22.75	28.6	40	50	23	29	40.2	51	28	35	48.7	61.3
Masa ( Kg)	3.23	3.63	4.3	4.76	3.13	3.54	4.14	4.65	2.15	2.4	2.82	3.18

Seleccionamos un volante de aluminio con las siguientes dimensiones:





**Figura 29. Dimensiones del Volante**

## 6.6 DISEÑO DEL RESORTE

El diámetro exterior del resorte es:

$$D = 180 \text{ mm} = 0.18 \text{ m}$$

El número de espiras activas es:

$$N_a = 4$$

El número de espiras totales es:

$$N_t = N_a + 2 = 6$$

El índice del resorte es:

$$C = \frac{D}{d} \quad \text{donde} \quad d = \text{Diámetro del alambre, m}$$

$$C = \frac{180}{22} = 8.18$$

La longitud cerrada del resorte es:

$$L_s = d N_t = 22 \times 6 = 132 \text{ mm}$$

La longitud libre del resorte se asume en 220 mm, por lo tanto el paso es:

$$P = \frac{[L_o - 2d]}{N_a} = \frac{[220 - 2(22)]}{4} = 44 \text{ mm}$$

Con las anteriores consideraciones obtenemos el módulo de rigidez del resorte K, donde la constante de rigidez G es 79.3 Gpa.

$$K = \frac{d^4 G}{8 D^3 N a} = \frac{0.022^4 \times 79.3 \times 10^9}{8 \times (0.18^3) \times 4} = 99500 \text{ N/m}$$

Para comprimir totalmente el resorte ( 88 mm), es necesario aplicar una fuerza igual a:

$$F = K \times \text{Deformación} = 99500 \times 0.088 \text{ m} = 8756 \text{ N}$$

La fuerza necesaria en el disco para obtener el par de fricción necesario es:

$$F = P \times A \quad \text{donde } P = 115 \text{ Kpa}$$

$$A = \text{Area de fricción}$$

$$A = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi (0.3^2 - 0.1^2)}{4} = 0.0628 \text{ m}^2$$

$$F = 115000 \times 0.0628 = 7225 \text{ N} < 8756 \text{ N}$$

Para comprobar la resistencia del resorte a compresión y torsión, evaluamos el material a utilizar, en este caso, alambre de acero UNSG 10650 ( AISI 1065 ) revenido en aceite, el

cual se provee con una ligera capa de escoria proveniente del tratamiento térmico, la cual debe eliminarse. La resistencia última a la tensión está en 900 Mpa y la resistencia de fluencia a cortante está en 450 Mpa.

El esfuerzo cortante medio se calcula por:

$$\tau = K_s \frac{8 F D}{\pi d^3} \quad \text{donde } K_s = \text{Factor de corrección} = 1.06$$

$$\tau = 397 \text{ Mpa} < S_{sy} = 450 \text{ Mpa}$$

La estabilidad del resorte en aceros se determina por:

$$L_0 < 2.63 \frac{D}{\alpha} \quad \text{donde } \alpha = \text{Constante de apoyo de extremo} = 0.5$$

$$L = 2.63 \frac{180}{0.5} = 947 \text{ mm}$$

$$220 \text{ mm} < 947 \text{ mm}$$

La prueba para torsión se determina por la ecuación:

$$T = \frac{\pi d^3 S_{yc}}{32 K_i} \quad \text{donde } S_{yc} = \text{Resistencia a la compresión} \\ K_i = \text{Factor de corrección} = 1.1$$

$$S_{yc} = 0.8 S_{ut} = 0.8 * 900 = 720 \text{ Mpa}$$

$$T = 674 \text{ N.m} \quad > \quad T_f = 390 \text{ N.m}$$

## 6.7 DISEÑO DE LAS BOBINAS

La ecuación para el campo magnético producido por la bobina es:

$$B = \frac{\mu N I}{2 \sqrt{R^2 + L^2}}$$

donde

- B = Densidad de flujo, T
- $\mu$  = Permeabilidad del medio,  $\text{H m}^{-1}$
- N = Número de vueltas, adimensional
- I = Corriente a través de la bobina, m
- L = Longitud de la bobina, m
- R = Radio de la bobina, m

**Cuadro 32. Permeabilidades relativas**

Material	Permeabilidad relativa $\mu_r$
Cobre	0.999999
Aire	1.0000004
Acero Suave	2000
Hierro ( 0.2 impureza)	5000
Hierro Purificado	200000

\* Permeabilidad del aire  $\mu_0 = 400 \pi \text{ nHm}^{-1}$

De la tabla 32 tenemos:

$$\mu = \mu_r \mu_0 = 5000 \times 400 \pi = 6.28 \times 10^{-3} \text{ Hm}^{-1}$$

El área de sección de la bobina es:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 0.070^2}{4} = 3.85 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

La fuerza magnética desarrollada entre dos bobinas es:

$$F = \frac{B^2 A}{2 \mu}$$

donde  $F$  = Fuerza de atracción – repulsión, N  
 $B$  = Densidad de flujo, T  
 $A$  = Area del entrehierro,  $\text{m}^2$

Reordenando la ecuación anterior en función del campo magnético tenemos:

$$B = \sqrt{\frac{2 \mu F}{A}} = \sqrt{\frac{2 \times 6.28 \times 10^{-3} \times 8700 \text{ N}}{3.85 \times 10^{-3} \text{ m}^2}} = 168 \text{ Tesla ( T )}$$

La potencia asumida para embrague es:

Potencia = Corriente x Voltaje

$$\text{Corriente } I = \frac{\text{Potencia}}{\text{Voltaje}} = \frac{2000 \text{ W}}{110 \text{ V}} = 18 \text{ Amperios}$$

Si suministramos 9 amperios por bobina, el número de vueltas necesarias para cada bobina se calcula de la siguiente ecuación:

$$N = \frac{2 \times \sqrt{[R^2 + L^2]} \times B}{6.28 \times 10^{-3} \times I} = \frac{2 \times \sqrt{[0.035^2 + 0.08^2]} \times 168 \text{ Tesla}}{6.28 \times 10^{-3} \times 9 \text{ Amp}}$$

$$N = 520 \text{ Vueltas}$$

## 7. MANTENIMIENTO

Todas las actividades de mantenimiento deben estar dirigidas a minimizar de una manera razonable el costo de Generación de Potencia Eléctrica así como a mantener la prestación del servicio, teniendo en cuenta la calidad de la Energía y la seguridad de operación de la Unidad. La esencia del Mantenimiento Preventivo por realizar, son las revisiones e inspecciones programadas que pueden o no tener como consecuencia una tarea correctiva o de cambio.

El programa de Mantenimiento se basa en el estudio de necesidades de servicio de cada componente de la Unidad. Además, se estima el tiempo que se toma cada operación y la periodicidad con que se efectúa, con el fin de poder determinar así las horas-hombre que

requiere una tarea de mantenimiento, al igual que las personas que se van a emplear en determinados momentos del año.

Es indispensable tener un Manual de Mantenimiento donde de una manera clara se definan las Normas para la ejecución de las diferentes actividades del sector de mantenimiento. El Manual debe contener las siguientes partes:

- Equipo o parte de la maquinaria sobre la cual se aplica
- Programa de actividades
  
- Códigos de actividades
- Instrumentos, herramientas y accesorios requeridos para la ejecución
- Normas de seguridad y precauciones
- Procedimientos y estándares de la ejecución
- Tarjeta maestra
- Ordenes de servicio
- Formatos de programación y control presupuestal

## **7.1 COSTOS DE MANTENIMIENTO**

Los costos totales de mantenimiento ( CTM ) están compuestos por dos clases:

- Costos Directos de Mantenimiento ( CDM )
- Costos por Parada de Equipo ( CPE )

Los costos directos de mantenimiento se definen como el valor del conjunto de bienes y servicios que se consumen para adelantar una tarea de mantenimiento. Se encuentran conformados por los costos de suministros y los costos de mano de obra que incluyen los costos de operación. Hacen parte de los suministros:

- Contratación Externa
- Repuestos
- Materia Prima
- Insumos

Los costos de mano de obra son:

- Salarios
- Prestaciones Sociales
- Costos de Operación

Los costos de operación son aquellos que no pueden ser clasificados ni como suministros ni como mano de obra y cuya cuantificación atribuida a una determinada labor de mantenimiento, es casi imposible. Por lo tanto la valorización de estos costos se hace en un período particular de tiempo. Los costos de operación son:

- Renta o alquiler
- Energía
- Acueducto



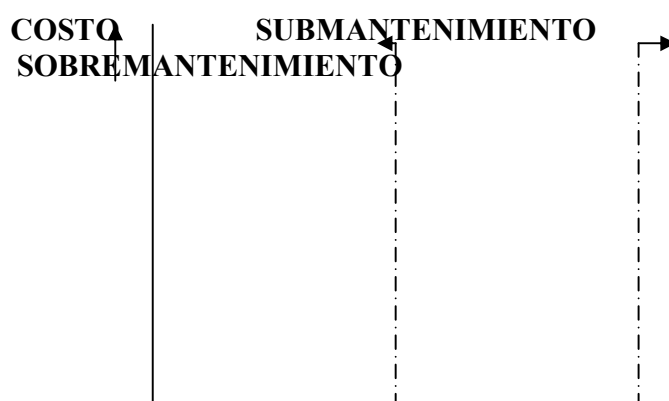
- Impuestos

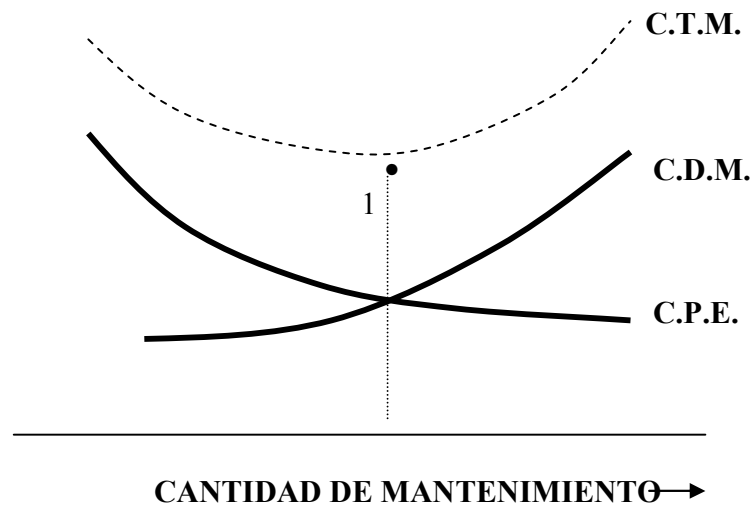
Se incluyen también los elementos solicitados por el taller de máquinas-herramientas tales como:

- Aceites
- Refrigerantes
- Buriles
- Brocas
- Fresas

Los anteriores una vez comprados se consideran consumidos y que constituyen parte de los gastos del mantenimiento. Al hallarse una máquina o equipo en estado improductivo se incurrirá en unos costos debido a la tarifa horaria que tenga la máquina ( CPE ). En ocasiones la obsolescencia de equipos hace imposible conseguir repuestos y es necesario practicar modificaciones a la máquina; esto puede ocasionar que la máquina disminuya su capacidad productiva y a ésta pérdida se le denomina costo por falla.

Es necesario determinar el nivel real y óptimo del mantenimiento, utilizando como elemento de análisis los costos antes mencionados, ya que la tendencia actual es la de minimizar la cantidad de horas-hombre empleadas para producir una unidad de energía, con la finalidad de reducir su costo unitario y así enfrentar la creciente competencia en el mercado.





**Figura 30. Niveles de Mantenimiento**

El nivel óptimo de mantenimiento es el punto en donde la suma de los costos directos de mantenimiento y los costos de parada de equipo, sea el mínimo. Gráficamente lo anterior se muestra en la figura 30. Para efectos prácticos se supone que el costo mínimo total de mantenimiento coincide con el punto de corte de las dos curvas de costos ( Punto 1 ).

## **7.2 PROGRAMACION DEL MANTENIMIENTO**

El mantenimiento preventivo se realiza mediante una programación previa de actividades, con el fin de evitar en lo posible la mayor cantidad de daños imprevistos, disminuir los tiempos muertos de Generación por fallas y por ende disminuir los costos de la misma. Se debe contar con las siguientes fuentes de información:

- Catálogos de fabricantes.

- Manuales de fabricantes.
- Planos levantados a la maquinaria ( si no existen ).
- Memorias de cálculo si se han realizado mejoras o reparaciones.
- Experiencia de los peritos y técnicos en lubricación, electricidad y mecánica.
- Listados que contengan la disponibilidad de personal y equipos de mantenimiento.
- Información de los supervisores de producción acerca de tiempos picos y paradas obligadas, que permitan distribuir de tal manera las tareas de mantenimiento buscando minimizar los tiempos muertos de producción por mantenimiento.

La información desde un comienzo debe tener una doble intención: la de crear un programa y la de retroalimentar el mismo, en especial lo referente a tiempos de duración y periodicidad de las actividades. El programa de mantenimiento debe ser flexible ya que en cada momento se encuentran cambios continuos que se deben realizar durante la ejecución del programa, puesto que una vez se lleva la información a la máquina, esta puede resultar errada ( es demasiado corto el tiempo para la realización de la tarea, la frecuencia con que se debe realizar el trabajo debe ser mayor o menor, etc ), esta información debe venir a través de la orden de mantenimiento, o en un formato especial al programador, para que sea corregida en la tarjeta maestra y dejar que el sistema vaya informándose hasta obtener una situación más acorde con las necesidades reales.

Se puede llevar a cabo ahora, con esta información, una primera programación, respondiendo siempre, tanto para ésta como para las futuras programaciones, las siguientes preguntas:

- ¿Qué hay que mantener?
- ¿Qué hay que hacer para mantenerlo en funcionamiento?
- ¿Cuándo y cada cuanto hay que hacerlo?
- ¿Cómo hay que hacerlo?
- ¿Qué personal se requiere para hacerlo?
- ¿Cuánto tiempo requiere hacerlo?

**7.2.1 Actividades de Mantenimiento.** Todas las actividades deben codificarse con el fin de simplificar su ejecución. Esta codificación y su frecuencia se agrupan en las siguientes tablas:

**Cuadro 33. Actividades de Mantenimiento para la turbina**

Actividad	Cod. De Actividad	Frecuencia
Inspección de limpieza	T001	M
Inspección por abrasión y Corrosión	T011	M
Inspección de soldaduras	T021	M
Medición de deformaciones	T031	M
Limpieza	T002	M →6M
Reparación por abrasión y corrosión	T012	M→2M
Reparación de soldaduras	T022	6M→A
Reparación de deformaciones	T032	2M→3M

#M = Frecuencia por meses A = Frecuencia anual → Tendencia

**Cuadro 34. Actividades de mantenimiento para el multiplicador**

Actividad	Cod. De Actividad	Frecuencia
Inspección por desgaste en los engranajes	M001	M

Inspección de rodamientos	M011	M→3M
Inspección de Soldaduras	M021	M→3M
Inspección de deformaciones	M031	M
Inspección de lubricante	M041	M →2M
Inspección para corrosión en carcasa	M051	2M→6M
Reemplazo por desgaste en engranajes	M002	6M→A
Reemplazo de rodamientos	M012	A
Reparación de soldaduras	M022	6M→A
Reparación de deformaciones	M032	6M→A
Reemplazo de lubricante	M042	3M→6M
Reparación por corrosión en carcasa	M052	6M→A

#M = Frecuencia por meses A = Frecuencia anual → Tendencia

**Cuadro 35. Actividades de mantenimiento para el generador**

Actividad	Cod. De Actividad	Frecuencia
Inspección de bobinados y fases	G001	3M→6m
Inspección de rodamientos	G011	6M→A
Inspección del rotor	G021	3M→6M
Inspección del estator	G031	3M→6M
Inspección de conexiones	G041	M →2M
Inspección para corrosión de carcasa	G051	6M→A
Reparación de bobinados y fases	G002	A
Reemplazo de rodamientos	G012	A
Reparación del rotor	G022	A
Reparación del estator	G032	A
Reemplazo de conexiones	G042	6M→A
Reparación por corrosión de carcasa	G052	A

#M = Frecuencia por meses A = Frecuencia anual → Tendencia

**Cuadro 36. Actividades de mantenimiento para el embrague electromecánico**

Actividad	Cod. De Actividad	Frecuencia
Inspección por desgaste	E001	M→3m
Inspección del solenoide	E011	3M→6m

Inspección del disco	E021	3M→6m
Inspección del resorte	E031	6M→A
Inspección de conexiones	E041	M →2M
Reemplazo por desgaste	E002	3M→6M
Reparación del solenoide	E012	6M→A
Reemplazo del disco	E022	6M→A
Reemplazo del resorte	E032	A
Reemplazo de conexiones	E042	A

#M = Frecuencia por meses A = Frecuencia anual → Tendencia

**Cuadro 37. Actividades de mantenimiento para el bulbo, tobera y difusor**

Actividad	Cod. De Actividad	Frecuencia
Inspección por corrosión	B001	M
Inspección por abrasión	B011	M
Inspección de soldaduras	B021	M→3M
Inspección de tornillería	B031	3M→6M
Inspección de soportes	B041	3M→6M
Reparación por corrosión	B002	3M →6M
Reparación por abrasión	B012	3M→6M
Reparación de soldaduras	B022	6M→A
Reemplazo de tornillería	B032	6M→A
Reparación de soportes	B042	A

#M = Frecuencia por meses A = Frecuencia anual → Tendencia

**Cuadro 38. Actividades de mantenimiento para la estructura de soporte**

Actividad	Cod. De Actividad	Frecuencia
Inspección de vigas	S001	6M
Inspección de columnas	S011	6M

Inspección de zapatas	S021	A
Inspección de tornillería	S031	6M→A
Inspección de soldaduras	S041	6M→A
Inspección de aparejos de levante	S051	6M→A
Inspección de sellos	S061	3M →6M
Inspección de empaquetaduras	S071	M→3M
Inspección de rodamientos	S081	3M→6M
Inspección de soportes	S091	2M→3M
Reparación de vigas	S002	A
Reparación de columnas	S012	A
Reparación de zapatas	S022	A
Reemplazo de tornillería	S032	A
Reparación de soldaduras	S042	A
Reparación de aparejos de levante	S052	A
Reemplazo de sellos	S062	6M
Reemplazo de empaquetaduras	S072	6M
Reemplazo de rodamientos	S082	A
Reparación de soportes	S092	A

#M = Frecuencia por meses A = Frecuencia anual → Tendencia

### 7.2.1 Tarjeta maestra de mantenimiento

#### **TARJETA MAESTRA DE MANTENIMIENTO**      **UNIDAD No** \_\_\_\_\_

Número de Serie: \_\_\_\_\_ Fabricante: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Fecha de construcción: \_\_\_\_\_ Capacidad: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Lugar de instalación: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Fecha de instalación: \_\_\_\_\_ Costo total: \_\_\_\_\_

Caudal: \_\_\_\_\_ Voltaje: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Corriente: \_\_\_\_\_ Frecuencia: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Velocidad de la turbina: \_\_\_\_\_ Velocidad del generador:

\_\_\_\_\_

Tipo de trabajo: \_\_\_\_\_ Tiempo de trabajo: \_\_\_\_\_

**METALMECANICA**

<b>CODIGO DE ACTIVIDAD</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>TIEMPO</b>

**ELECTRICIDAD**

<b>CODIGO DE ACTIVIDAD</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>TIEMPO</b>

**INSPECCION**

<b>CODIGO DE ACTIVIDAD</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>TIEMPO</b>

Ultima actualización: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Vo. Bo. Jefe de Mantenimiento

**7.2.2 Orden de Mantenimiento**

<b>DIA</b>	<b>MES</b>	<b>AÑO</b>

**ORDEN DE MANTENIMIENTO**

Unidad No. \_\_\_\_\_

No.	
-----	--



Sistema:	Componente:	No. De Plano	
Inspección <input type="checkbox"/>	Reparación	Reemplazo	Otros
Código de Actividad	Hora inicial	Hora Final	Tiempo total

**SUMINISTROS**

DESCRIPCION	VLR UNITARIO	SUBTOTAL
<b>VALOR TOTAL SUMINISTROS</b>		

DESCRIPCION DEL SERVICIO: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

RESULTADOS: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Técnico

\_\_\_\_\_  
Ing de Mantenimiento

\_\_\_\_\_  
Jefe de Mantenimiento

**7.2.4 Programación y control de tiempo de mantenimiento.** Luego de probar la unidad en vacío sin carga, y puesta en marcha del Multiplicador-Embrague, se programan las actividades de la siguiente manera:

Mensualmente:

- Inspección de la turbina por limpieza, abrasión, corrosión, soldaduras y deformaciones.
- Inspección del multiplicador: engranajes, rodamientos, soldaduras, deformaciones, lubricante y corrosión.
- Inspección del Generador y sistema eléctrico de distribución y control.
- Inspección del embrague por desgaste.
- Inspección del bulbo, tobera y difusor por corrosión, abrasión y soldaduras.

Trimestralmente:

- Limpieza y reparación de deformaciones en la turbina
- Inspección del multiplicador: rodamientos, soldaduras, deformaciones y lubricante
- Inspección del Generador: bobinas, rotor, estator.
- Inspección del Embrague Electromecánico: solenoides, disco, resorte.
- Inspección del bulbo, tobera y difusor: tornillería y soportes.

Semestralmente:

- Reparación de soldaduras en la turbina
- Verificación o reparación de engranajes en el multiplicador
- Inspección de rodamientos del Generador
- Reemplazo del disco y verificación del solenoide del embrague
- Reparación y cambio de soldaduras y tornillería en bulbo, tobera y difusor.
- Inspección de vigas, columnas, tornillería, soldadura, aparejos de levante en estructura de soporte.

Anualmente:

- Reemplazo de rodamientos del multiplicador.
- Reemplazo de rodamientos del Generador y mantenimiento general del rotor, estator y carcasa.
- Reemplazo de resorte y conexiones del embrague electromecánico.
- Reparación de soportes en bulbo, tobera y difusor.
- Reparación de vigas, columnas, zapatas y soldaduras de la estructura de soporte.

El siguiente formato debe utilizarse para controlar los tiempos programados y utilizados en las actividades de mantenimiento de acuerdo a su orden de ejecución.



## **7.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO**

El manual de mantenimiento tiene como objetivo organizar y explicar las tareas a ejecutar que en primera instancia se pueden ejecutar, con el fin de tener acceso a esta información de una manera rápida y eficaz.

**7.3.1 Disposiciones Preliminares.** Antes de ejecutar cualquier actividad de mantenimiento es necesario seguir los siguientes pasos para el posicionamiento correcto de la unidad para realizar cualquier actividad:

- Desconexión eléctrica en subestación y en la unidad.
- Cierre de paso al agua colocando la tapa de obstrucción en la tobera.
- Elevación de la unidad a posición de mantenimiento a una altura de 50 cm sobre el nivel del agua.
- Dejar escurrir el agua que se encuentre acumulada variando 5 ° el ángulo horizontal de la unidad.
- Colocar la manta de fieltro debajo de la unidad y amarrada a la estructura principal para evitar contaminación y pérdida de elementos.
- Verificar herramienta y suministros a utilizar de acuerdo a la actividad y los elementos de protección personal (casco, guantes, botas, gafas, etc).

**7.3.2 Limpieza de superficies metálicas.** Es de ocurrencia frecuente que la preparación de la superficie resulte mas larga y costosa que la aplicación misma de la pintura; y es, por lo demás, el resultado de un mantenimiento descuidado, porque nada justifica que a un sistema mecánico tenga que entrar periódicamente el equipo de chorro de arena, o los operarios de equipos mecánicos, a eliminar oxido que habría podido evitarse con un buen mantenimiento. Es necesario para completar esta actividad soltar los pernos de acople en tobera y difusor para después elevar tapa superior a posición de mantenimiento.

**7.3.2.1 Limpieza con solventes y detergentes.** Para evitar el gasto de abundantes cantidades de disolventes, se vienen utilizando los jabones detergentes en polvo, que diluidos en agua y formando abundante espuma al frote con estopa o tela de yute (estropajo), remueven en forma aceptable la grasa y los aceites al aplicar luego un abundante lavado con agua. Ninguno de estos productos remueve el oxido. La aplicación debe hacerse generosamente porque el empleo de pequeñas cantidades de solvente, por ejemplo, puede dejar grasas y aceites diluidos que, al evaporarse el solvente, quedan nuevamente en la superficie. Se usan únicamente cuando se trata de eliminar grasa o aceite, en superficies con pintura antigua pero en buen estado, o en metales de toda especie, particularmente planchas, láminas y hierros que vienen de laminación con aceites, grasas, etc., o que han sido accidentalmente cubiertos de estas materias.

**7.3.2.2 Limpieza manual.** Se basa simplemente en la utilización de cepillos, rasquetas, etc., bajo la acción de una fuerza manual.

**7.3.2.3 Limpieza a máquina.** Consiste en la utilización de diversos aparatos accionados neumáticamente, tales como cepillos giratorios, gratas y martillos. En orden de efectividad viene el sistema de limpieza a máquina, que no solamente es más rápido sino que permite suprimir más a fondo el óxido. Deberá tenerse cuidado con herramientas que maltratan demasiado la superficie, dejando aristas y desniveles que resultan difíciles de proteger con una capa de pintura. Si el metal no queda con aspecto brillante, exento de óxido, es conveniente usar también el pre-tratamiento con aceite penetrante líquido o pintura transformadora de óxido.

**7.3.2.4 Limpieza con chorro de arena.** Uso de compresores y equipos para lanzar un chorro de arena de gran poder sobre la superficie a limpiar. El sistema de chorro de arena es superior a todos los conocidos, para la eliminación de capas de óxido de cualquier espesor. Se compone el equipo de un compresor que descarga arena dura (silica sand 20-50 u.s. Mesh) por una boca de 5/16". El grado de limpieza es de metal blanco (white metal).

La superficie presenta un aspecto de metal limpio, gris, sin ninguna presencia de óxido, que se consigue con tantas pasadas del chorro cuanto sea necesario. Es muy importante tener en cuenta que la superficie que ha sido limpiada con chorro de arena en el grado white metal, debe recubrirse, al terminar la jornada de trabajo, con una capa de la pintura anticorrosiva que haya sido seleccionada. Después de 10 horas puede presentarse nueva oxidación en los climas húmedos, zonas costaneras y atmósferas industriales ( humos corrosivos)

Hecha la limpieza al grado previsto, la superficie debe ser limpiada con aire a presión, procedente del mismo compresor, para eliminar polvo y partículas sueltas, antes de aplicar la primera capa de pintura. Los trabajos con chorro de arena deben confiarse a especialistas calificados que posean el equipo y la experiencia necesarios. Toda superficie oxidada o no oxidada que vaya a repintarse, en climas costaneros, debe ser lavada previamente con agua dulce para eliminar toda concentración de sales que pudiere haber dejado la exposición prolongada a la intemperie.

**7.3.3 Reacondicionamiento de superficies metálicas.** La capa primaria de pintura anticorrosiva es el cimiento de la buena protección en instalaciones de todo género. Una capa primaria bien estructurada permite hacer trabajos posteriores de repintada, para



reemplazar capas finales sucias o deterioradas, sin necesidad de otra operación diferente al lavado de la superficie.

Estando intacta la base anticorrosiva y no habiendo por lo tanto corrosión ni oxidación, se evita el costoso trabajo de volver a limpiar hasta metal. Ninguna recomendación será, por lo tanto, superflua, ni ninguna exigencia será demasiada en esta fase tan decisiva del trabajo de protección.

En la protección anticorrosiva es indispensable lograr el espesor adecuado para cubrir enteramente la porosidad del metal. Cuando se trata de metal nuevo, liso, una mano de base anticorrosiva puede ser suficiente; pero en metales que han estado oxidados, la limpieza ahonda a veces las cavidades o porosidades, creando poros profundos y aristas. Un espesor de 20 mils ( 1 mils = 0.025 mm = 1 capa de esmalte corriente), de la capa seca es aconsejable para la protección anticorrosiva en climas tropicales húmedos, climas costaneros, humos y gases industriales y otras condiciones severas. Sobre esta debe aplicarse la capa de protección final.

Un aspecto básico del sistema de protección final es el análisis de las condiciones que intervienen o pueden intervenir para causar deterioro de la capa de pintura. Para la selección de la capa de pintura final se asumen las siguientes condiciones del medio:

- Contacto permanente con agua dulce
- Contacto permanente con agua salada

- Altas temperaturas
- Contacto con sustancias corrosivas

Para la unidad se utilizará Anticorrosiva de Caucho clorado rica en zinc, Pintura submarina de alquitrán color aluminio y Acondicionador de superficie. El resumen de las características se muestra en la tabla 39.

**Cuadro 39. Características de pinturas, anticorrosivos y acondicionadores de superficie**

CARACTERISTICA	PRODUCTO			
	Acondicionador de Superficie	Anticorrosivo	Pintura de acabado	Disolvente
Color	Incoloro	Gris	Plateado	Incoloro
Pigmento	Oxido de Zn	Zinc Metálico	Aluminio	-
Vehículo	Especial	Caucho clorado	Alquitrán	-
Peso por galón	4.25 Kg	8.97 Kg	4.02 Kg	3.24 Kg
Contenido de Sólidos	-	70%	45%	-
Punto de Chispa	No inflamable	No inflamable	No inflamable	28 ° C
Kauri Butanol	-	-	-	92 Aprox
Punto de Ebullición	-	-	-	135 ° C
Toxicidad	-	-	-	200 ppm máx
Velocidad de Evaporación	-	-	-	2 min / gota
Viscosidad	10-11°C	70-75 KU	54-58 KU	-
Nivelación	-	-	Buena	-
Brochabilidad	Muy buena	Buena	Buena	-
Adherencia	-	Buena	Muy buena	-
Espesor recomendado ( Película seca)	-	1.5 mils	3-4 mils sobre anticorrosivo	-
Penetración	Muy buena	-	-	-
Rendimiento	100-110 m <sup>2</sup> / gl	45 m <sup>2</sup> / gl	13-15 m <sup>2</sup> / gl	-
Secamiento al tacto	4 Hr	½ Hr	10 min	-
Secamiento al manejo	4 Hr	1 Hr	1 Hr	-
Tipo de aplicación	Brocha, Pistola ó	Brocha ó	Brocha	-

	inmersión	Pistola		
Dilución	No recomendada	21.004	No recomendada	-
Disolventes	Agua		21.004 – 21.003	Aromáticos

FUENTE: PINTUCO S.A. Catálogo de Productos

**7.3.4 Mantenimiento de la turbina.** Luego de las disposiciones preliminares se realiza la actividad de mantenimiento programada. Se deben tener en cuenta tres clases de inspección:

- Inspección visual
- Inspección con líquido penetrante
- Inspección radiográfica y ultrasónica

La inspección visual se utiliza para todas las actividades de inspección con la frecuencia correspondiente y el equipo utilizado para realizarla es el siguiente:

- Lupa de bolsillo
- Calibrador Vernier
- Linterna de mano
- Visor de soldaduras
- Espejo

Bajo este método se detectan la suciedad (algas, moho, arena, etc.), incrustación de sólidos, corrosión y deformaciones. En el caso de las soldaduras se detecta la aspereza, salpicaduras, socavación, traslapos, penetración y tamaños inadecuados

La inspección con líquido penetrante se debe utilizar cuando haya indicios de falla mediante la inspección visual, se emplean líquidos penetrantes y reveladores comerciales fluorescentes ó visibles, luz negra para el tipo fluorescente. Se aplica para revelar solo los defectos de superficie que no se detectan a simple vista; como microfisuras y porosidad.

La inspección radiográfica y ultrasónica es opcional y acorde con el grado de confiabilidad que se quiera alcanzar mediante un mantenimiento de tipo predictivo. Esto cuando los componentes de la unidad tengan un historial confiable de duración y resistencia.

La limpieza y reparaciones correspondientes a cada actividad se realizan mediante los procedimientos de limpieza de superficies descritos en el numeral 7.3.2 y las normas de la AWS ( American Welding Society), en caso de las soldaduras. En caso de deformación debe reemplazarse los álabes correspondientes con el material, dimensiones y tipo de soldadura especificados en el diseño.

**7.3.5 Mantenimiento del Multiplicador.** Luego de las disposiciones preliminares se realizan las actividades de mantenimiento. La inspección de componentes del multiplicador se realiza visualmente y en el caso de los engranajes se utilizan calibradores

Vernier, calibradores de engranes, además de los elementos de inspección visual descritos anteriormente. A la inspección del lubricante se agrega un análisis químico y físico de laboratorio tomando una muestra para determinar el contenido de sólidos, viscosidad, humedad, etc.

La reparación y reemplazo de componentes se realiza cumpliendo con las especificaciones de diseño; en el caso de modificaciones, deben hacerse teniendo en cuenta los resultados de mantenimientos anteriores y una base de cálculo como soporte de dicha modificación.

La exactitud en el montaje debe ser proporcional con la calidad de los propios engranes para obtener resultados óptimos. La unidad de engrane debe drenarse y limpiarse con un aceite lavador, después de transcurridos cuatro semanas de operación inicial. Para volver a llenarla puede utilizarse el lubricante original filtrado, o bien un lubricante nuevo. Para operación normal, los cambios de aceite deben hacerse después de cada 2500 h de servicio. Deben llevarse a cabo verificaciones periódicas de los niveles del aceite, aceiteras y accesorios. La observación constante de los cambios que se presenten en las características de operación, como la elevación exagerada de la temperatura por encima de la ambiente, ruido, vibración y fuga de aceite; puede evitar paralizaciones costosas.

Para la instalación y puesta en marcha se debe verificar lo siguiente:

- Cimentación adecuada, de acuerdo con el tamaño y tipo de unidad. La superficie debe estar nivelada.
- No forzar los ajustes especificados

- Alinearse con exactitud los ejes
- Utilizar el lubricante y la cantidad especificados
- Verificar que la rotación es apropiada y que no existen obstrucciones antes del arranque en operación a plena carga
- Realícese después del arranque una inspección en búsqueda de fugas de aceite, ruido o vibración anormales. Verifíquese la temperatura del aceite después de varias horas, esta no debe exceder de 50 ° C. Transcurrida la primera semana, vuélvase a verificar la alineación y lo apretado de todos los sujetadores, accesorios y tapones de los tubos.

**7.3.6 Mantenimiento del Generador.** Luego de las disposiciones preliminares se realizan las actividades de mantenimiento programadas. La inspección de componentes eléctricos y electrónicos se realiza por inspección visual con ayuda del multímetro digital para probar si hay circuitos abiertos. Se inspecciona en base a las lecturas del tablero de digitación y control. Los elementos mecánicos como ejes y rodamientos se prueban e inspeccionan visualmente de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

Es necesario monitorear permanentemente las conexiones y circuitos de control, ya que de estos depende que el Generador no actúe en sobrecarga o tenga un funcionamiento inadecuado por causa de elementos defectuosos o en mal estado. En caso de falla súbita del Generador se procede a las reparaciones correspondientes a cargo de un taller especializado bajo las recomendaciones y características de diseño del fabricante.

Es importante realizar una verificación mecánica completa del equipo de control antes y después de la instalación. Las partes rotas o dañadas se suelen descubrir fácil y rápidamente y se reemplazan si es necesario. Las inspecciones visuales deben hacerse con ayuda de una linterna de mano, manguera de aire y un cepillo pequeño. Las partículas y polvo pueden eliminarse con un cepillo de los contactos y otras áreas del interruptor; la oxidación ligera y la suciedad en las caras de los polos pueden quitarse con aire comprimido y cepillo.

Nunca se debe utilizar una lima o abrasivo de ninguna clase en las caras de los polos, ya que esto puede alterar el ajuste preciso entre los componentes del núcleo, debe hacerse con aire comprimido de baja presión.

**7.3.7 Mantenimiento del Embrague Electromecánico.** La inspección del embrague es visual y se verifica con instrumentos de calibración y medición como Pié de Rey, Multímetro digital y lupa. Para el reemplazo de componentes se deben seguir los parámetros y características de diseño para los materiales, dimensiones y método de fabricación. Por ser un elemento de prueba, cualquier modificación debe estar soportada por una base de cálculo y las inspecciones de mantenimiento realizadas con anterioridad.

**7.3.8 Mantenimiento del bulbo, tobera y difusor.** La inspección visual de estos componentes se limita a comprobar el estado funcional de los mismos, para evitar un mal funcionamiento en la unidad. Las actividades de mantenimiento programadas deben

cumplir con las disposiciones preliminares y en caso tal de ejecutarlas los elementos y materiales deben ser los especificados en el diseño. Cualquier modificación debe estar soportada por una base de cálculo y las recomendaciones de mantenimientos anteriores. Deben verificarse también los sellos mecánicos y empaquetaduras, el estado del prensaestopa y el cojinete antifricción.

**7.3.9 Mantenimiento de la Estructura de Soporte.** Se deben inspeccionar todos los elementos visualmente y a criterio del personal de mantenimiento deben reprogramarse cada una de las actividades de acuerdo al estado de conservación que presenten vigas, columnas, zapatas, tornillos, soldaduras, etc. Ya que el recubrimiento superficial de los anteriores se ve expuesto a ambiente corrosivo, se debe analizar adecuadamente el grado de penetración del óxido si existe y en base a esta información realizar limpieza o reemplazo de componentes. Debido a que esta estructura permanecerá en su posición de montaje, el cambio de elementos debe ser secuencial para evitar el desbalanceo de fuerzas sobre la misma. Verificar rejillas de filtración.



## 8. PRESUPUESTOS

### 8.1 PRESUPUESTO DE MATERIALES Y FABRICACION

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	UND	VALOR UNIDAD	VALOR ITEM
	<b>TURBINA</b>				
1	Plancha en Acero Inoxidable AISI/SAE 316L 3/8" 1.2x2.4 m M = 151 Kg	1	UND	\$ 2400000	\$ 2400000
2	Electrodo AWS E308L – 16 3/16"	2	Kg	26900	53800
3	Barra Redonda en Acero Inoxidable AISI/SAE 316 $\phi = 100$ mm L = 600 mm	1	UND	385000	385000
4	Maquinado Eje de Turbina	1	UND	60000	60000
5	Rolado de Lámina	100	Kg	300	30000
6	Corte de Lámina	3	m.	4000	12000
7	Soldadura de Alabes	4	m.	10000	40000
8	Soldadura de Eje al cubo	1	m.	30000	30000
9	Soldadura del Cubo	1	m.	25000	25000
				<b>Subtotal</b>	<b>3035800</b>
10	<b>ACOPLE RENOLD URATYRE TIPO HB88-08</b>	1	UND	<b>Subtotal</b>	<b>90000</b>

	<b>MULTIPLICADOR</b>				
<b>11</b>	Plancha en Acero Estructural ASTM A-36 3/8" 1.2X2.4 m M = 151 Kg	1	UND	280000	280000
<b>12</b>	Electrodo AWS E7018 3/16"	3	Kg	4500	13500

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT</b>	<b>UND</b>	<b>VALOR UNIDAD</b>	<b>VALOR ITEM</b>
<b>13</b>	Barra Redonda en Hierro Gris ASTM 20 $\phi = 70 \text{ mm}$ L = 300 mm	1	UND	85000	85000
<b>14</b>	Maquinado Eje de Entrada	1	UND	45000	45000
<b>15</b>	Barra Redonda en Hierro Gris ASTM 20 $\phi = 50 \text{ mm}$ L = 250 mm	1	UND	41000	41000
<b>16</b>	Maquinado Eje de Salida	1	UND	30000	30000
<b>17</b>	Pernos Entrada Multiplicador M24 x 3 x 150 mm (6") - Propiedad 4.6	3	UND	7400	22200
<b>18</b>	Pernos Tapa Multiplicador M10 x 1.5 x 35 mm (1 3/8") – Propiedad 4.6	30	UND	600	18000
<b>19</b>	Soldadura Carcasa del Multiplicador	2	m.	7000	14000
<b>20</b>	Rodamiento Rígido de Bolas SKF 6209-2RS con placas de obturación	8	UND	33000	264000
<b>21</b>	Rodamiento Rígido de bolas SKF 6014-2RS con placas de obturación	1	UND	85000	85000
<b>22</b>	Rodamientos de Rodillos cilíndricos SKF NU214	1	UND	175000	175000
<b>23</b>	Hidráulico Industrial ISO 68	1	Gl	12000	12000
<b>24</b>	Corona dentada Hierro Gris ASTM 20	1	UND	185000	185000

	Fundición y Maquinado				
25	Engrane Planetario Hierro Gris ASTM 20 Fundición y Maquinado	3	UND	95000	285000
26	Engrane Solar Hierro Gris ASTM 20 Fundición y Maquinado	1	UND	75000	75000
27	Discos de Acople engranes Planetarios. Fundición en Hierro Gris ASTM 20 Maquinado	3	UND	50000	100000
28	Rolado de Lámina	70	Kg	300	21000
29	Acondicionador de Superficie Pintoxido 10.030	1 gl	Gl	15700	15700
30	Pintura Anticorrosiva de Caucho Clorado Pintuco 10.043	1 gl	Gl	65000	65000
31	Disolvente Pintuco 21.004	1 gl	Gl	12000	12000

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	UND	VALOR UNIDAD	VALOR ITEM
32	Corte de Lámina	2	m.	4000	8000
33	Brocha 3" Redonda	1	UND	7000	7000
				<b>Subtotal</b>	<b>1858400</b>
	<b>EMBRAGUE ELECTROMECHANICO</b>				
34	Barra redonda en Acero al Carbono AISI/SAE 1045 Q&T 600 °C φ = 100 mm L = 500 mm	1	UND	104000	104000
35	Pernos Embrague M8 x 1.25 x 30 mm (	8	UND	180	1440

	1 ¼") Propiedad 4.6				
36	Rodamiento de Rodillos Cónicos SKF 30216	2	UND	95000	190000
37	Soporte de Pie con Rodamiento Y SKF SY50FJ	1	UND	90000	90000
38	Discos y Piezas de ajuste Embrague Electromecánico Fundición en Hierro Gris ASTM 20 Maquinado	3	UND	40000	120000
39	Maquinado Eje del Embrague	1	UND	70000	70000
40	Resorte Helicoidal Acero 1065 Cal 7/8 6 Vueltas	1	UND	185000	185000
41	Lámina V30 11/16 Asbesto Tramado	1	UND	56000	56000
42	Bobinas Electromagnéticas	2	UND	25000	50000
43	Anillos de Contacto Eléctrico	2	UND	5000	10000
44	Circuito Electrónico de Regulación	1	UND	80000	80000
				<b>Subtotal</b>	<b>956440</b>
45	<b>ACOPLE RENOLD URATYRE TIPO HB 88 – 14</b>	<b>1</b>	<b>UND</b>	<b>Subtotal</b>	<b>120.000</b>

ITE M	DESCRIPCIÓN	CANT	UND	VALOR UNIDAD	VALOR ITEM
46	<b>GENERADOR TRIFÁSICO MARCA SIEMENS 220/440 CA - 4 POLOS 75 HP (56 KW)/1800</b>	<b>1</b>	<b>UND</b>	<b>Subtotal</b>	<b>5845000</b>

<b>RPM – 60 HZ</b>					
<b>SISTEMA DE DISTRIBUCION Y CONTROL</b>					
<b>47</b>	Interruptor de Protección Marca SIEMENS Tipo 3VQ56T-100 Regulación Térmica 100 A/ Fase	1	UND	312.500	312.500
<b>48</b>	Contactador Principal Tripolar Marca SIEMENS Tipo 3TF4622-OAN1 Tamaño NEMA 3 90 A / 440 V	1	UND	436500	436500
<b>49</b>	Transformador Trifásico 440 / 110 V AC 6.25 KVA Conexión Delta-Estrella	1	UND	1785000	1785000
<b>50</b>	Transformador de Intensidad – Baja Tensión. Marca SIEMENS Tipo 4NF0117-2HC2 100/5 A $\phi = 17.5 \text{ mm}$ 2.5 VA	3	UND	70750	212250
<b>51</b>	Conmutador para Voltímetro Marca SIEMENS Tipo 3LF1100-6RF21 10 A Secuencia L1L2, L2L3, L3L1, L1N	1	UND	87000	87000
<b>52</b>	Conmutador para Amperímetro Marca SIEMENS Tipo 3LF1100-8RQ21 10 A Secuencia O-L1-L2-L3	1	UND	93000	93000
<b>53</b>	Voltímetro Marca SIEMENS Tipo A96 Clase 1.5 0-600 V 5 VA	1	UND	113500	113500
<b>54</b>	Amperímetro Marca SIEMENS Tipo A96 Clase 1.5 0-15 A 1VA	1	UND	114000	114000
<b>55</b>	Frecuencímetro de Lenguetas Marca SIEMENS Tipo A96 57-63 Hz 110 / 220 V. 3	1	UND	223000	223000

	VA				
56	Termómetro de Carátula con indicación de máxima temperatura Marca SIEMENS Tipo AKM 44612 $\phi = 65$ mm, 2 contactos	1	UND	681500	681500
57	Caja metálica para transferencias automáticas 800 x 450 x 200 Marca SIEMENS	1	UND	228000	228000
58	Interruptor de Protección Marca SIEMENS Tipo 3VQ56T-15 Regulación térmica 15 A/Fase	1	UND	281000	281000
				<b>Subtotal</b>	<b>4566750</b>
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	UND	VALOR UNIDAD	VALOR ITEM
	<b>BULBO</b>				
59	Plancha en Acero Estructural ASTM A-36 3/8" 1.2X2.4 m M = 151 Kg	3	UND	280000	840000
60	Electrodo AWS E7018 3/16"	5	Kg	4500	22500
61	Rolado de Lámina	450	Kg	300	135000
62	Acondicionador de Superficie Pintoxido 10.030	1	Gl	15700	15700
63	Pintura Anticorrosiva de Caucho clorado Pintuco 10.043	2	Gl	65000	130000
64	Disolvente 21.004	1	Gl	12000	12000
65	Pintura Submarina Pintuco 13.403	2	Gl	120000	240000
66	Lámina V30 1/32 Asbesto Tramado	1	UND	31000	31000
67	Cordon 2009 – 1" Grafito Expandido	2	Kg	33000	66000

68	Brocha 3" Redonda	1	UND	7000	7000
69	Brocha 6" Plana	1	UND	17000	17000
70	Pernos de Prensaestopa M8 x 1.25 x 35 mm ( 1 3/8") Acero Inoxidable – Propiedad 4.6	8	UND	800	6400
71	Pernos del Bulbo M10 x 1.5 x 35 mm ( 1 3/8") Acero Inoxidable – Propiedad 4.6	80	UND	1000	80000
72	Doblado de Lámina	8	m.	2500	20000
73	Perforaciones 1/2"	80	UND	800	64000
74	Corte de Lámina	12	m.	3000	36000
				<b>Subtotal</b>	<b>1722600</b>

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	UND	VALOR UNIDAD	VALOR ITEM
<b>TOBERA Y DIFUSOR</b>					
75	Plancha en Acero Estructural ASTM A-36 3/8" 1.2X2.4 m M = 151 Kg	8	UND	280000	2240000
76	Electrodo AWS E7018 3/16"	8	Kg	4500	36000
77	Rolado de Lámina	1200	Kg	300	360000

78	Acondicionador de Superficie Pintoxido 10.030	3	Gl	15700	47100
79	Pintura Anticorrosiva de Caucho Clorado Pintuco 10.043	3	Gl	65000	195000
80	Disolvente 21.004	2	Gl	12000	24000
81	Pintura Submarina Pintuco 13.403	4	Gl	120000	480000
82	Brocha 3" Redonda	1	UND	7000	7000
83	Brocha 6" Plana	1	UND	17000	17000
84	Lámina V30 1/32" Asbesto Tramado	1	UND	31000	31000
85	Pernos Tobera-Difusor M12 x 1.75 x 35 mm ( 1 3/8") Acero Inoxidable – Propiedad 4.6	150	UND	1200	180000
86	Bridas con perforaciones de 5/8"	2	UND	60000	120000
87	Soldadura de Bridas	4	m.	8000	32000
88	Corte de Lámina	8	m.	3000	24000
				<b>Subtotal</b>	<b>3793100</b>
<b>ESTRUCTURA DE SOPORTE</b>					
89	Perfil W6 x 20 en Acero Estructural ASTM A-36	8	UND	248000	1987200
90	Electrodo AWS E7018 3/16"	10	Kg	4500	45000
91	Pernos Estructura M20 x 2.5 x 40 mm (1 3/4") Acero Inoxidable – Propiedad 4.6	90	UND	5800	522000



92	Acondicionador de Superficie Pintoxido 10.030	3	Gl	15700	47100
----	---	---	----	-------	-------

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	UND	VALOR UNIDAD	VALOR ITEM
93	Pintura Anticorrosiva de Caucho Clorado Pintuco 10.043	4	Gl	65000	260000
94	Disolvente 21.004	2	Gl	12000	24000
95	Pintura Submarina Pintuco 13.403	4	Gl	120000	480000
96	Brocha 3" Redonda	1	UND	7000	7000
97	Brocha 6" Plana	1	UND	17000	17000
98	Perforaciones 7/8"	90	UND	900	81000
				<b>Subtotal</b>	<b>3470300</b>
	<b>TOTAL MATERIALES Y FABRICACION</b>				<b>25458390</b>

## 8.2 PRESUPUESTO DE MONTAJE

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	UND	VALOR UNIDAD	VALOR ITEM
	<b>LOGISTICA</b>				
1	Cargue y Manejo de Materiales	1	UND	250000	250000
2	Transporte de la Unidad	1	UND	350000	350000
3	Alquiler Grua Flotante	2	Día	120000	240000

<b>4</b>	Ingeniería	1	-	1000000	1000000
<b>5</b>	Técnico Electromecánico	2	-	250000	500000
<b>6</b>	Buzo Profesional	2	-	200000	400000
<b>7</b>	Alquiler Equipo de Buceo	2	Día	170000	340000
<b>8</b>	Seguros	1	-	3000000	3000000
				<b>Subtotal</b>	

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT</b>	<b>UND</b>	<b>VALOR UNIDAD</b>	<b>VALOR ITEM</b>
	<b>HERRAMIENTA MANUAL</b>				
<b>9</b>	Llaves de copas	1	Jg	135000	135000
<b>10</b>	Llave Inglesa	2	UND	7000	14000
<b>11</b>	Lupa de Bolsillo	2	UND	4000	8000
<b>12</b>	Torcómetro	1	UND	75000	75000
<b>13</b>	Linterna	2	UND	6000	12000
<b>14</b>	Flexómetro	2	UND	3000	6000
<b>15</b>	Pinzas	2	UND	8000	8000
<b>16</b>	Martillo	1	UND	12000	12000
<b>17</b>	Hombresolo	1	UND	9000	9000
<b>18</b>	Cortafrio	1	UND	7000	7000
<b>19</b>	Calibrador Vernier	1	UND	80000	80000
<b>20</b>	Calibrador de Engranajes	1	Jg	95000	95000
<b>21</b>	Nivel	1	UND	12000	12000

22	Multímetro Digital	1	UND	850000	850000
23	Cepillo	1	UND	5000	5000
24	Rasqueta	1	UND	6000	6000
				<b>Subtotal</b>	<b>1342000</b>
<b>ELEMENTOS DE PROTECCION</b>					
25	Casco	3	UND	11900	35700
26	Botas Dieléctricas	3	Par	46900	140700
27	Guantes tipo Ingeniero	3	Par	4200	12600
28	Chaleco Salvavidas	3	UND	43000	129000
29	Cinturon de seguridad tipo Arnes	3	UND	64400	193200
				<b>Subtotal</b>	<b>511200</b>
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	UND	VALOR UNIDAD	VALOR ITEM
<b>APAREJOS DE LEVANTE Y MANIOBRA</b>					
30	Cadena 3/8" ( 3 Tons)	10	m.	14500	145000
31	Gancho de Ojo 3 Ton	4	UND	45000	180000
32	Eslabon Maestro 3/4 3 Ton	4	UND	18000	72000
33	Grillete para cadena 3/8" Perno roscado	4	UND	6900	27600
34	Ojillo de Izaje Roscado Tamaño No. 6	4	UND	12000	48000
35	Diferencial de Cadena 3 Ton	4	UND	125000	500000
				<b>Subtotal</b>	<b>936600</b>

	<b>TOTAL MONTAJE</b>				<b>8565800</b>
	<b>TOTAL MATERIALES Y MONTAJE</b>				<b>34024190</b>
	<b>IMPREVISTOS</b>				<b>3402419</b>

<b>TOTAL INVERSION</b>					<b>37.430.209</b>
------------------------	--	--	--	--	-------------------

### 8.3 PRESUPUESTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT</b>	<b>UND</b>	<b>VALOR UNIDAD</b>	<b>VALOR ITEM</b>
	<b>COSTOS DE OPERACIÓN</b>				
<b>1</b>	Administrador	1	-	300000	300000
<b>2</b>	Técnico Electromecánico	1	-	400000	400000
<b>3</b>	Vigilancia Nocturna	1	-	300000	300000

4	Auxiliar de Mantenimiento	2	-	100000	200000
5	Arriendo	1	-	100000	100000
6	Servicios	-	-	30000	30000
7	Papelería y Utiles de Oficina	-	-	35000	35000
8	Sistemas	-	-	80000	80000
9	Muebles de Oficina	-	-	30000	30000
				<b>Subtotal</b>	<b>1475000</b>
<b>COSTOS DE MANTENIMIENTO</b>					
10	Turbina	-	-	91000	91000
11	Multiplicador	-	-	55000	55000
12	Embrague Electromecánico	-	-	29000	29000
13	Generador	-	-	175000	175000
14	Sistema de Distribución y Control	-	-	137000	137000
15	Bulbo	-	-	52000	52000
16	Tobera y Difusor	-	-	114000	114000
17	Estructura de Soporte	-	-	104000	104000
18	Elementos de Protección			17000	17000
19	Aparejos de Levante y Maniobra			29000	29000
				<b>Subtotal</b>	<b>803000</b>
<b>TOTAL OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>					<b>2.278.000</b>

## **9. EVALUACION DEL PROYECTO**

El desarrollo puede definirse en términos de crecimiento económico, de progreso social, de desarrollo tecnológico, de desarrollo personal, etc. En el primer caso, es el proceso mediante el cual una organización (país, comunidad, industria, empresa) identifica formas de generación de riqueza, que le permiten asegurarse un proceso continuado de mejora en los indicadores típicos de la riqueza: ingreso per cápita, balanza de pagos, utilidades, activos, etc. En el caso social, es el proceso a través del cual se mejora la calidad de vida del conglomerado humano, sujeto del proceso. En el caso del desarrollo tecnológico, es el proceso mediante el cual se logra una adecuación tecnológica, que permite a la organización mantener su capacidad competitiva.

Factores como inflación, devaluación, contaminación, crisis energética, crisis de recursos naturales, nuevas metas del personal, internacionalización de los mercados, cambios tecnológicos acelerados, intereses, grandes niveles de endeudamiento, etc., han creado una mayor dificultad en el análisis de las actividades orientadas al desarrollo de la organización, lo cual exige cada día una mayor sofisticación, tanto en los factores que se deben considerar, como en las herramientas que se deben aplicar. Todo programa de desarrollo está compuesto por una serie interrelacionada de actividades, denominadas generalmente proyectos.

El proceso general de análisis de una inversión y su forma más avanzada, la elaboración de un plan de negocio de dicha inversión ( conocido muchas veces como estudio de factibilidad), requiere la realización, en forma integrada, de una serie de análisis y estudios que permitan visualizar totalmente la conveniencia de la inversión. El proceso de análisis es integrado y hay que trabajar en paralelo y con retroalimentaciones.

## **9.1 ANALISIS COMERCIAL**

La energía producida con Unidades de Generación por Corriente Fluida de baja presión está orientada a satisfacer la demanda energética de zonas ribereñas con bajo nivel de desarrollo económico y social. En Colombia son muchas las comunidades que carecen de este servicio, porque los centros de Generación se localizan cerca de las ciudades desarrolladas e industrializadas para satisfacer la demanda de las mismas; debido a esto, los costos de distribución son altos para proveer de energía a estas poblaciones.

Los clientes potenciales de este tipo de unidades son: Alcaldías, Acueductos Municipales, Fincas Agrícolas y Ganaderas, industria pesquera, Puertos Fluviales, y toda actividad comercial e industrial que se desarrolle en zonas ribereñas con el potencial hidráulico necesario para satisfacer los requisitos mínimos de operación de este tipo de unidades.

## **9.2 ANALISIS SOCIAL**

El montaje y puesta en marcha de una Unidad Generadora no atenta contra la cultura, es decir, contra las costumbres, valores y creencias de las comunidades. No atropella o contradice valores religiosos y su principal meta es respetar y continuar todos los conceptos socialmente aceptados. Se desea promover el rechazo al castigo injusto, al maltrato físico o psicológico a cualquier ser sensible y la explotación del trabajador. Se rige bajo todas las normas y leyes colombianas relativas a salarios mínimos, seguridad social, higiene y protección personal en el sitio de trabajo. Se rechazan los servicios de baja calidad o con prácticas de explotación inadecuada de los recursos naturales.

## **9.3 ANALISIS DE INTANGIBLES**

La imagen corporativa de esta nueva empresa de Generación y distribución de energía eléctrica está respaldada por la innovación de los métodos utilizados para la producción y el enfoque de desarrollo que tiene hacia las poblaciones marginadas de nuestro país, preocupándose por aumentar la productividad y el nivel económico per cápita de la comunidad. La opinión pública de este proyecto es bastante positiva y su objetivo atrae la atención de inversionistas locales y extranjeros. La situación política de nuestro país y la inseguridad en que vivimos no permite un desarrollo planificado a largo plazo y con grandes inversiones; se necesitan soluciones rápidas y fáciles de ejecutar con el fin de



mantener la estabilidad económica y social de las poblaciones marginadas de la vida moderna.

#### **9.4 ANALISIS ADMINISTRATIVO**

El proyecto de generación necesariamente debe estar orientado por personal capacitado en el área técnica y administrativa. A medida que el proyecto se expanda, habrá la necesidad de crear nuevos empleos para personal de mantenimiento, ventas, servicios generales, etc., haciendo parte de un organigrama a nivel nacional. Dará la oportunidad de competir dentro de un margen legal con empresas de Generación y distribución de energía eléctrica, aplicando todos los estándares de calidad y servicio de una empresa moderna.

#### **9.5 ANALISIS TECNICO**

Una cualidad muy importante del diseño de la Unidad Generadora por corriente fluida de baja presión es la disponibilidad de materiales y centros de fabricación de todos sus elementos. La ciudad de Cartagena se encuentra en un nivel de desarrollo industrial metalmecánico inferior al de otras ciudades del país como Barranquilla, Bogotá, Bucaramanga, Cali y Medellín; esto favorece la proyección económica del proyecto dado que al reducir costos de fabricación, la inversión será aún más rentable de lo presupuestado para la industria de Cartagena. Si se analiza desde el punto de vista macro, en países de alto nivel de desarrollo industrial este proyecto se ejecutaría como una gran solución para los países en vía de desarrollo con problemas energéticos, ya que el diseño se presta para la

producción en serie y con diferentes capacidades de acuerdo a la energía hidráulica disponible de cada sector.

Es muy importante recordar que entre mayor capacidad de producción tenga el fabricante, más económico será el proyecto y por esta razón se obtendrá una mayor rentabilidad. La producción de energía eléctrica por medio de una Unidad Generadora por corriente fluida de baja presión en comparación con una planta convencional de generación diesel ó sistemas no convencionales ofrece las siguientes ventajas:

- El agua como fluido impulsor se utiliza en su forma natural aprovechando únicamente su energía cinética. Una planta eléctrica convencional de la misma potencia duplica los costos de operación por consumo de combustibles y lubricantes, mientras un sistema eólico o de mareas necesita de mayor inversión debido a las dimensiones que se deben proyectar para aprovechar el mismo valor de potencia.

- La disponibilidad de grandes caudales hidráulicos existe en mayor proporción que las corrientes de aire en nuestro país. Por eso, tiene mayor posibilidad de divulgación gracias al recurso que se maneja, ahorrando en costos de operación y disponer de los combustibles para otras aplicaciones de la industria Petroquímica.

En nuestro país y a nivel mundial, las disposiciones de gran caudal y baja presión existen frecuentemente. Los ríos más importantes de Colombia que pueden ser utilizados para este fin son: Amazonas, Atrato, Apaporis, Caquetá, Casanare, Cesar, Guaviare, Inírida,

Guainía, Cauca, Magdalena, Meta, Orinoco, Patía, San Jorge, San Juan, Vaupes, Vichada y Putumayo entre otros. Cada uno de estos ríos ofrece caudales mucho mayores que los encontrados en el Canal del Dique, asegurando el proyecto de unidades de mayor tamaño. Esta ventaja reduce los presupuestos de materiales, fabricación, montaje, operación y mantenimiento; haciendo más rentable la inversión inicial y por ende menor el tiempo de recuperación de capital.

Actualmente el petróleo proporciona alrededor del 40% de la energía que se consume en todo el mundo. Al gas natural le corresponde un 15% del consumo mundial, y al carbon un 30%. La leña y los desperdicios forestales constituyen la más antigua fuente energética usada por el hombre. Los habitantes de muchos países pobres utilizan todavía leña, estiercol y paja para calentarse ó para cocinar.

Las desventajas que presenta la construcción y montaje de la unidad respecto a la utilización de Plantas diesel ó sistemas no convencionales de generación son las siguientes:

- Los efectos corrosivos y abrasivos del agua hacen que las partes metálicas en contacto directo con la misma deban ser protegidas por algún medio ya sea pintura o galvanizado, elevando considerablemente los costos de inversión y mantenimiento de la unidad.
  
- El traslado de la unidad a otra zona debe ameritarse por razones de fuerza mayor; es decir, que la unidad adquirida quiera utilizarse en otra zona más conveniente para el usuario

o distribuidor de la energía. También por alteraciones notables en el nivel del agua ya sea por encima o por debajo del nivel promedio de diseño.

Esta desventaja le resta versatilidad para movilizarse en comparación con las plantas Diesel convencionales. En cuanto a las centrales eólicas debe justificarse por el cambio notable de las corrientes de aire.

- Para conservar la línea de diseño deben utilizarse unidades hasta de 150 Kw debido a que este es el límite en la fabricación bajo normas NEMA de Generadores convencionales con ventilación. Sobre este límite, debe diseñarse adicionalmente un sistema de refrigeración y regulación de corriente hidráulica debido al calor excesivo generado en la unidad y el volumen de agua que circula por esta. A su vez, perdería las propiedades de adaptarse a bajos caudales por la inercia que debe mantener, haciendo necesario el rediseño de los márgenes dimensionales, análisis de materiales, procesos de fabricación, montaje y mantenimiento.

- Para aprovechar al máximo la potencia hidráulica es necesario ubicar la unidad en el sitio de máxima profundidad, lo cual afecta el calado operacional de embarcaciones que utilicen esta vía de transporte. Debe analizarse bien el balance económico entre la producción de energía y la navegabilidad mediante el trazado de límites ó fronteras de operación que se obtienen por la estimación de los beneficios económicos generados; es decir, cual será el crecimiento en la demanda de navegación frente al desarrollo proyectado.

- Las operaciones de montaje y mantenimiento son de alto riesgo frente a la instalación de plantas diesel o sistemas de generación no convencionales.

## 9.6 ANALISIS ECONOMICO

El primer paso en la determinación de la viabilidad económica del proyecto es saber su capacidad de producción, la cual se calcula de la siguiente manera:

**Producción mensual = Potencia x Tiempo**

$$P_m = 50 \text{ Kw} \times 24 \text{ Hr} / \text{ día} \times 30 \text{ días} / \text{ mes} = 36000 \text{ Kwh} / \text{ mes}$$

Según las tarifas de Electrocosta, para estrato bajo-bajo con consumos mayores de 200 Kwh en los distritos de Bolívar, Magangue, Sucre y Córdoba; el costo por Kwh es \$127.77 pesos / Kwh. Para tarifas no residenciales se presentan variaciones de acuerdo al nivel de voltaje suministrado, el nivel I corresponde a Voltajes menores de 1 Kv que es mayor al suministrado por la unidad (440 V). Se considera para el suministro establecer tarifa sencilla binomia ya sea industrial o comercial en \$125.00. Estos valores son menores que el costo unitario único nacional (CUNAL) para el nivel I que es de \$145.55 / Kwh.

Los componentes del costo unitario ( \$/ Kwh) son:

G:	Costos de compra de energía	\$	39.89
T:	Costo promedio por uso del STN		9.81
PR:	Fracción de pérdidas de energía acumulada, %		16.50%
	(G+T) / (1-PR)		59.53

D:	Costo de distribución	44.70
O:	Costos adicionales del mercado mayorista	8.78
C:	Costo de comercialización	14.77
CU:	Costo unitario de prestación del servicio	127.77

**EL ESTUDIO PARA LA COSTA ATLÁNTICA DE LA ESP  
MAREAS NO RESIDENTES - NIVELES DE MAREAS Y TIEMPO  
DE LAS MAREAS EN LOS DISTritos**

Ejemplo	MAREAS I		MAREAS II		MAREAS III		MAREAS IV		MAREAS V		MAREAS VI		MAREAS VII		MAREAS VIII		MAREAS IX		MAREAS X		
	TIEMPO	TIEMPO	TIEMPO	TIEMPO	TIEMPO	TIEMPO	TIEMPO	TIEMPO	TIEMPO	TIEMPO	TIEMPO	TIEMPO	TIEMPO	TIEMPO	TIEMPO	TIEMPO	TIEMPO	TIEMPO	TIEMPO	TIEMPO	
En mareas de marea alta de marea de marea de marea	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17
En mareas de marea alta de marea de marea de marea	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17	12:17 12:17 12:17 12:17

Los niveles II y IV no se detallan por estar fuera de la aplicación. Para los distritos de Magangue Sucre y Córdoba, se deben consultar los cuadros siguientes en donde se

especifica por parte de Electrocosta las tarifas residenciales y no residenciales. Una vez fijado el precio unitario por Kwh igual a \$125.00, obtenemos la venta promedio total de energía en el mes:

**Venta Promedio mensual = Producción x Costo Unitario**

$$V_p = 36000 \text{ Kwh / mes} \times \$125.00 / \text{Kwh}$$

**Balance de Utilidad Mensual**

Venta promedio mensual	\$	4.500.000
Costos de Operación y Mantenimiento	-	2.278.000
Impuesto de Ventas	-	230.000
Utilidad Neta Promedio / mes	\$	1.992.000

La rentabilidad de la inversión se calcula por:

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\text{Utilidad Neta}}{\text{Inversión}} \times 100$$

$$\text{Rentabilidad} = \frac{1.992.000}{37.466.209} \times 100$$

$$\text{Rentabilidad} = 5 \% \text{ Mensual}$$

En doce meses se habrá recuperado por lo menos el 60% de la inversión



Esta rentabilidad es la mínima que se obtiene al instalar una Unidad, la cual es mayor de la que se obtendría depositando el dinero en una cuenta de ahorros. La rentabilidad se puede aumentar de las siguientes maneras:

- Instalando mayor número de unidades ó de mayor potencia con el fin de reducir los costos de operación y mantenimiento. Esto a su vez reduce la inversión inicial por suministro de materiales y fabricación a menor costo, incluyendo también el presupuesto de montaje. De esta manera se obtendría del 8-10% de rentabilidad en la inversión.
- Utilizando los componentes al máximo de vida útil con el fin de evitar costos por parada de equipo y recambio de piezas en buen estado. Esto aumentaría la rentabilidad del 5-8% garantizado por los factores de diseño empleados en la construcción de la unidad.
- Al realizar modificaciones, emplear materiales y procesos de mayor calidad con el fin de darle mayor vida útil a los componentes, evitando así fallas periódicas o imprevistos. Esto aumenta los costos de materiales pero justifica mayor tiempo de operación, evitando inspecciones y reparaciones frecuentes. El aumento del 30% en costo de materiales es contrareestado por el 50% de vida útil y confiabilidad, aumentando la rentabilidad del 10-15%.
- Con las anteriores consideraciones después del primer año de operación se puede obtener una rentabilidad entre el 15-20% mensual, es decir, en cinco meses se recuperaría el monto total de la inversión.

## 9.7 ANALISIS FINANCIERO

Existen varias alternativas para financiar el proyecto, pero las tres principales son: Recursos propios,, prestamos bancarios, y arrendamiento financiero.

- Recursos Propios: Se beneficia del máximo de rentabilidad que produce el proyecto, ya que se evita intereses de financiación y otras obligaciones financieras. Esta manera de inversión es muy arriesgada pero bastante lucrativa.

- Prestamos bancarios: Este modo de financiación resulta costosa pero menos arriesgada debido a que se dispone de mayor tiempo para cubrir las obligaciones contraídas. Es la manera más fácil de desarrollar el proyecto cuando se trata de mayor número de unidades o de mayor potencia, ya que por el monto de la inversión limita la oferta de dinero en el mercado de pequeños y medianos inversionistas.

- Arrendamiento Financiero: Esta forma de financiación es muy común en el medio industrial, donde la conservación del equipo juega un papel importante para mantener su valor a través del tiempo. La amortización de la deuda es más accesible y los intereses son más bajos. Es la opción más aconsejable cuando se vayan a proyectar mayor número de unidades de una manera gradual y programada.

## **9.8 ANALISIS AMBIENTAL**

- El agua durante el proceso de transformación de energía no se degrada y mucho menos contamina físicamente el medio ambiente al igual que los sistemas no convencionales; los combustibles al ser quemados se vuelven contaminantes no biodegradables además de ser un recurso natural no renovable.
- No existe contaminación térmica o auditiva por el aislamiento que produce el agua y las bajas temperaturas de operación de la unidad. En plantas convencionales es un problema frecuente por la explosión de los motores que son de bajo rendimiento térmico y el control del fluido hace necesario la instalación de sistemas de escape.

## **10. RECOMENDACIONES**

Es necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones con el fin de facilitar muchas de las operaciones a realizar durante el montaje, puesta en marcha y mantenimiento de la Unidad. Cualquier cambio de estas recomendaciones debe estar soportado por una teoría o base de cálculo que reemplace la recomendación hecha en este proyecto.

## **10.1 RECOMENDACIONES DE DISEÑO**

- Los materiales a utilizar en la fabricación de cualquier componente deben tener propiedades similares o superiores a las especificadas.
- Los métodos de fabricación y tolerancias deben procurarse que sean las de mayor calidad comercialmente obtenible.
- Las dimensiones de los elementos sólo pueden modificarse en beneficio de la reducción del tamaño de la unidad.

## **10.2 RECOMENDACIONES DE MONTAJE Y MANTENIMIENTO**

- No improvisar instalaciones de ningún tipo, deben revisarse bien los planos de construcción.
- Todos los elementos de la estructura soporte (vigas, columnas, barandas, pisos, rejillas de filtración, compuertas y estribos); deben quedar firmemente acoplados antes de instalar el grupo generador.
- El grupo generador debe instalarse ya consolidado y en ningún momento debe presentar piezas sueltas o faltantes.
- Es necesario que siempre permanezcan dos personas sumergidas en el agua durante el ensamble del grupo generador; debido a la fuerza del agua que somete a la unidad.
- Las instalaciones eléctricas deben ser hechas por personal calificado.

- La grúa flotante debe tener una capacidad mínima de 5 Ton; y los diferenciales una capacidad mínima de 3 Ton.
- Los aparejos como cadenas, grilletes, ganchos, anillos, cáncamos, etc.; deben encontrarse en perfecto estado y tener una capacidad mínima de levante de 3 Tons.
- El equipo de buceo debe ser idóneo y contar con las herramientas necesarias para las labores de ensamble dentro del agua como equipo de soldadura submarina, llaves en general, elementos de seguridad, etc.
- Realizar el montaje con precaución de no golpear el grupo generador contra la estructura de soporte. Cualquier desajuste puede provocar falla de la unidad.

### **10.3 RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN**

- Mantener actualizados los registros contables y de inventarios.
- Mantener actualizados los registros de mantenimiento y en orden de ejecución.
- Vigilancia permanente debido al riesgo que representa el sabotaje o daños imprevistos.
- Revisar periódicamente los sistemas de alarma, señalización, iluminación y emergencia.

- Monitorear permanentemente la temperatura y velocidad del generador, al igual que los mecanismos de control.
- Revisar permanentemente los instrumentos de medición eléctrica y anotar los registros diarios de consumo con fines de facturación y análisis de tarifas.

## **11. CONCLUSIONES**

Las turbinas tubulares o grupos bulbo como se denominan comúnmente, fueron desarrolladas en Francia inicialmente. Hoy en día, se construyen en muchos países por su simplicidad de instalación y consiguiente economía en la obra civil.

Con motivo de la Central de la Rance (Francia), se han estudiado más de cien pinturas distintas para revestimientos, haciéndose también un estudio completo de las aleaciones para la construcción de la turbina; por ejemplo, aceros martensíticos inoxidables.

Además de la estanqueidad originada por estar el Generador sumergido, se han presentado problemas que han requerido innumerables investigaciones sobre la corrosión producida por el agua y la abrasión de las superficies debido a partículas sólidas contenidas en la misma.

Debido al tamaño reducido de la turbina, no se permite la instalación de mecanismos que hagan orientables los álabes, y el sistema de regulación de velocidad dependa de la variación que se presente directamente en el Generador. La instalación de servomecanismos originaría aumento en el costo y tamaño de la unidad, restándole espacio de operación y flexibilidad de montaje en módulos.

El uso del Multiplicador de Velocidades representa una gran economía en el Generador al disminuir el número de polos; además de reducir el tamaño disponible de la Unidad. Entre más pequeño sea este, las fuerzas inerciales se reducen y aumenta la eficiencia por carga en el sistema.

El diseño del Embrague Electromecánico fue la alternativa más viable para la regulación de velocidad, el cual su acción depende de los intervalos de frecuencia producidos por el Generador hacia un circuito integrado que a su vez genera las señales de cierre y apertura de compuertas mediante bobinas electromagnéticas. La desventaja de este sistema radica en la ubicación y protección de las bobinas contra los efectos del agua; pero ofrece la ventaja en la reducción de tamaño debido a mecanismos servomotores instalados en la tobera.

El tamaño de la Unidad permite la utilización de Generadores convencionales hasta de 200 Hp; para potencias mayores, es necesario instalar un sistema de refrigeración externo que garantice el funcionamiento en condiciones normales de operación. En cuanto al tamaño

del Generador, siempre va a ser mayor que los elementos de multiplicación, acople y embrague; conservando los parámetros de diseño del modelo original.

Se diseñó una estructura liviana, de fácil montaje, durable y que sirviera para las actividades de mantenimiento a desarrollar sin necesidad de movilizar a tierra los componentes y con el simple hecho de elevar el grupo generador sobre el nivel del agua mediante un diferencial de cadena apoyado sobre la estructura.

Esta operación puede ser realizada por el técnico y dos auxiliares sin ningún problema. La desventaja de esta disposición radica en la utilización de equipos de buceo para realizar el montaje y las disposiciones preliminares de mantenimiento.

Fue necesario instalar en tierra el sistema de distribución y control eléctrico para facilitar las lecturas, interrupciones y paradas de emergencia, evitando el desplazamiento constante hacia la unidad, el cual incrementaría los costos de operación.

Todos los materiales y elementos mecánicos como rodamientos, tornillos, acoples, calibres de láminas, soldaduras, formas estructurales, etc., fueron seleccionados bajo un estándar comercial y de fabricación para simplificar el stock de inventarios y la disponibilidad de los mismos, ofreciendo la ventaja de reducir los costos de montaje y mantenimiento.

La normalización es factor imprescindible para fundamentar una política seria de calidad. Los países en desarrollo reconocen cada vez más que la infraestructura de normalización basada en referencias comunes entre los países y regiones, es condición básica para mejorar



la productividad, la competitividad en los mercados y la capacidad de intercambio comercial con otros países. La existencia de normas no armonizadas para tecnologías similares en los diferentes países o regiones contribuyen a las llamadas “barreras técnicas del comercio”, por lo cual requieren acuerdos sobre normas mundiales para ayudar a racionalizar los procesos comerciales e industriales a nivel internacional.

La aplicación de todas las áreas desarrolladas en la ingeniería mecánica, fortalecen la base teórica de este proyecto para su futuro reacondicionamiento o mejora. Se partió del concepto simple hacia un diseño final susceptible de ser revaluado permanentemente para optimizar aún más su funcionamiento y beneficios económicos.

Todos los procesos referentes al diseño de la unidad como son la adquisición y manejo de materiales, fabricación, montaje, operación y mantenimiento, tienen como objetivo principal el aseguramiento de la calidad. La certificación de calidad asegura preferencia y satisfacción del consumidor hacia productos y sistemas confiables. La certificación es la actividad más valiosa en el ámbito de las transacciones comerciales nacionales e internacionales. Se ha constituido en una exigencia de compradores hacia sus proveedores, debido a que es la forma de garantizar los servicios y productos. Es un elemento insustituible para generar confianza en las relaciones cliente-proveedor.

## BIBLIOGRAFIA

- ALBARRACIN AGUILON, Pedro. **Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz**. 2 ed. Bucaramanga. Litochoa Editores. 1993. Tomo 1. 356 p.
- CASILLAS, A. L. **Maquinas – Cálculos de Taller**. 13 ed. Madrid. Ediciones Máquinas. Edición Hispanoamericana. 1990. 830 p.
- CRANE. **Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías**. 2 ed. México. McGraw Hill. 1995. 225 p.
- DARLE W., Dudley. **Manual de Engranajes – Diseño, Manufactura y Aplicación de Engranajes**. 1 ed. México. Compañía Editorial Continental S.A. 1973. 768 p.
- DUBBEL, H. **Manual del Constructor de Maquinas**. 5 ed. Barcelona. Labor S.A. 1977. 780 p.
- FAIRES, Virgil M. **Diseño de Elementos de Máquinas**. 2 ed. México. Limusa. 1993. 310 p.
- FRENCH, Thomas E. **Dibujo de Ingeniería**. 3 ed. México. Mc Graw Hill. 1981. 915 p.
- HIGDON, Archie. **Ingeniería Mecánica – Dinámica Vectorial**. 2 ed. México. Versión SI. Prentice Hall Hispanoamericana S.A. 1984. 290 p.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION-ICONTEC. **Normas Colombianas para la presentación de tesis de grado**. Bogotá. ICONTEC. 1998. 146P. NTC 1486. E-mail:cliente@calidad.icontec.org.co
- KERN, Donald Q. **Procesos de Transferencia de Calor**. 1 ed. México. Compañía Editorial Continental S.A. CECSA. 1965. 780 p.
- KRAUS, John D. **Electromagnetismo**. 3 ed. México. Mc Graw Hill. 1986. 320 p.
- MARKS. **Manual del Ingeniero Mecánico**. 2 ed. Bogotá. Mc Graw Hill. 1990. 1450 p.
- MATAIX, Claudio. **Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas**. 2 ed. México. Limusa. 1982. 340 p.

NASAR, Syed A. **Handbook of Electric Machines**. 1 ed. New York. Mc Graw Hill Book Company. 1987. 430 p.

NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. NEMA. **Motors and Generators MG1-1998 Standard**. Parte 4 y 11. Información dimensional de generadores. E-mail: [kat-hauber@nema.org](mailto:kat-hauber@nema.org)

POLO ENCINAS, Manuel. **Turbomaquinas Hidráulicas - Principios Fundamentales**. 3 ed. México. Limusa. 1975. 620 p.

RAMIREZ V, D. José. **Maquinas Motrices Generadores de Energia Eléctrica**. 4 ed. Barcelona. Ediciones CEAC S.A. 1980. 710 p.

ROSALER, Robert C. **Manual de Mantenimiento Industrial**. 2 ed. México. Mc Graw Hill. 1990. Tomos 1-5.

SHIGLEY, Joseph E. **Diseño en Ingeniería Mecánica**. 5 ed. México. Mc Graw Hill. 1992. 690 p.

SKF. **Manual de Mantenimiento y Recambio de Rodamientos**. Inglaterra. Catálogo 3014 sp. Jarrold Printing. 1977.

STREETER, Víctor. **Mecánica de Fluidos**. 8 ed. México. Mc Graw Hill. 1988. 335 p.

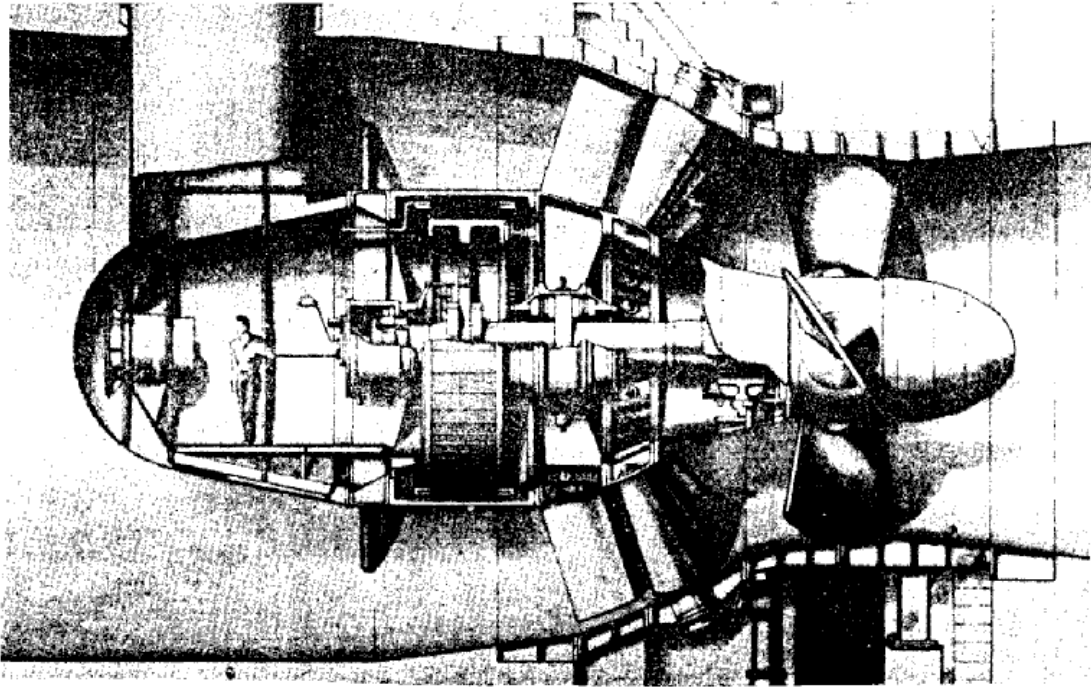
TEMA. **Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association**. 6 ed. New York. TEMA Publications. 1978. 250 P.

VARELA V, Rodrigo. **Evaluación Económica de Inversiones**. 1 ed. Bogotá. Norma. 1993. 290 p.

VIEJO ZUBICARAY, Manuel. PALACIOS, Pedro Alonso. **Energia Hidroeléctrica – Turbinas y Plantas Generadoras**. 1 ed. México. Limusa. 1977. 380 p.

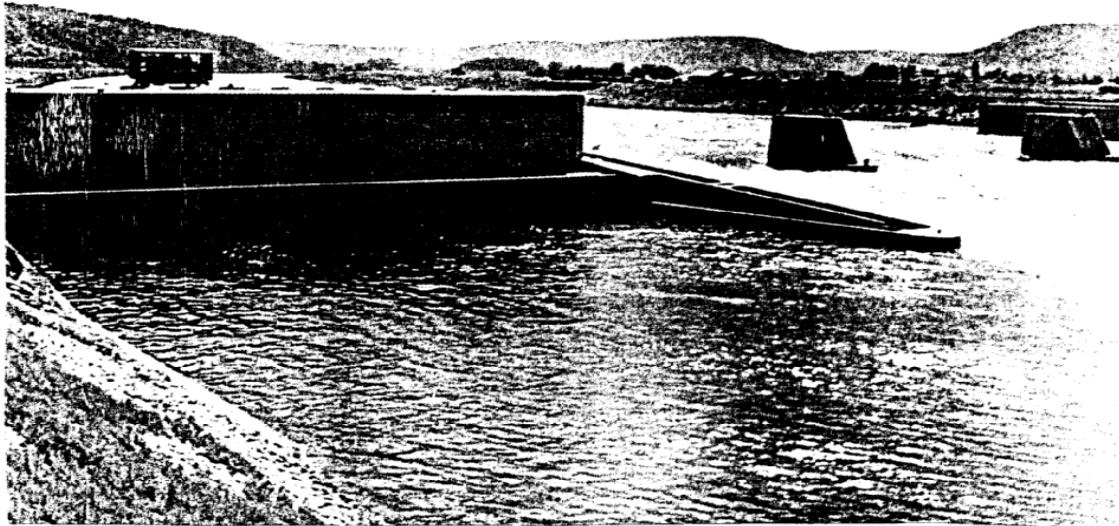


## ANEXO B. Turbina Bulbo.



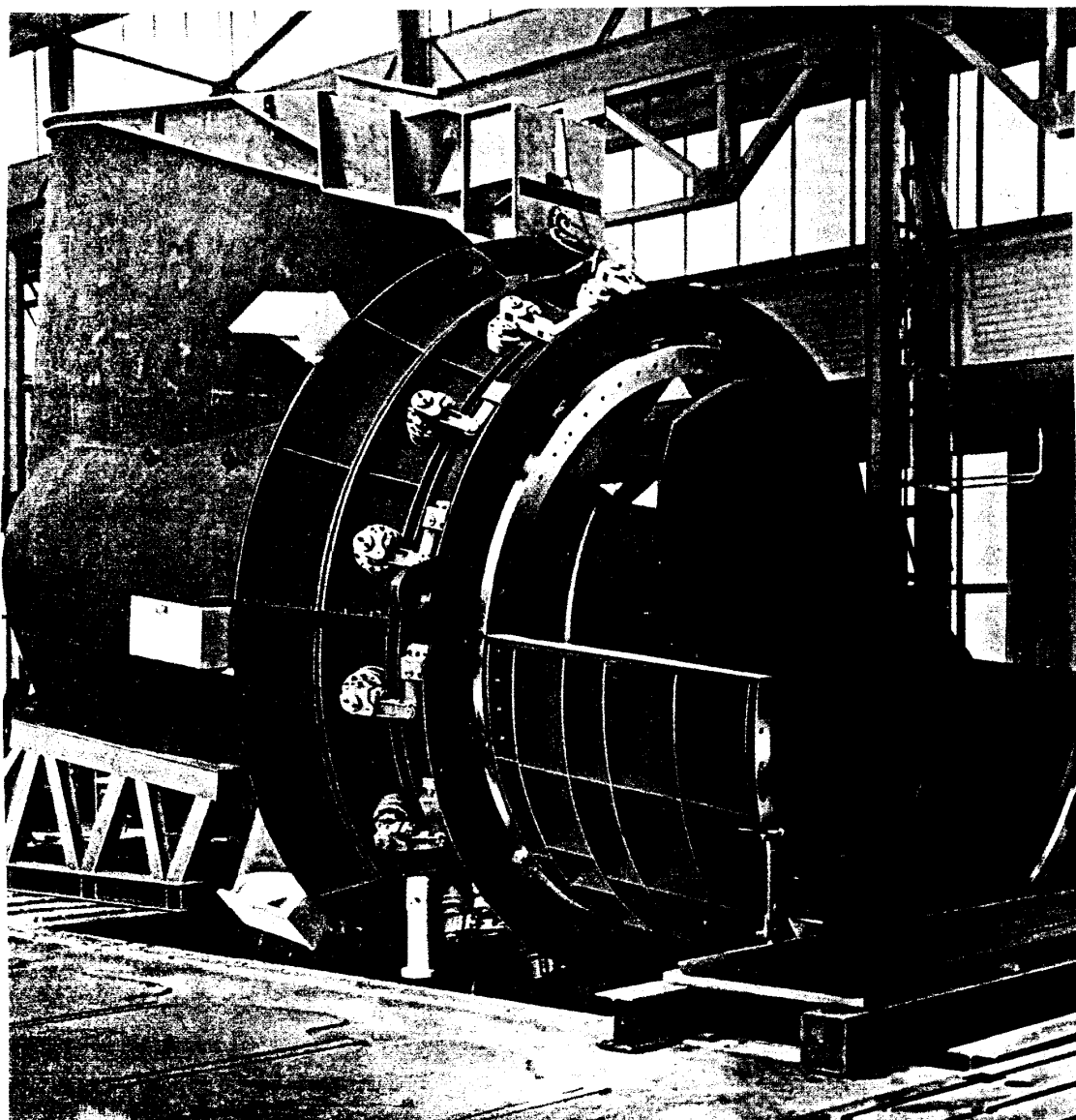
FUENTE: VIEJO ZUBICARAY, Manuel. Energía Hidroeléctrica

**ANEXO C. Planta Hidroeléctrica de TRIER ( Alemania)**



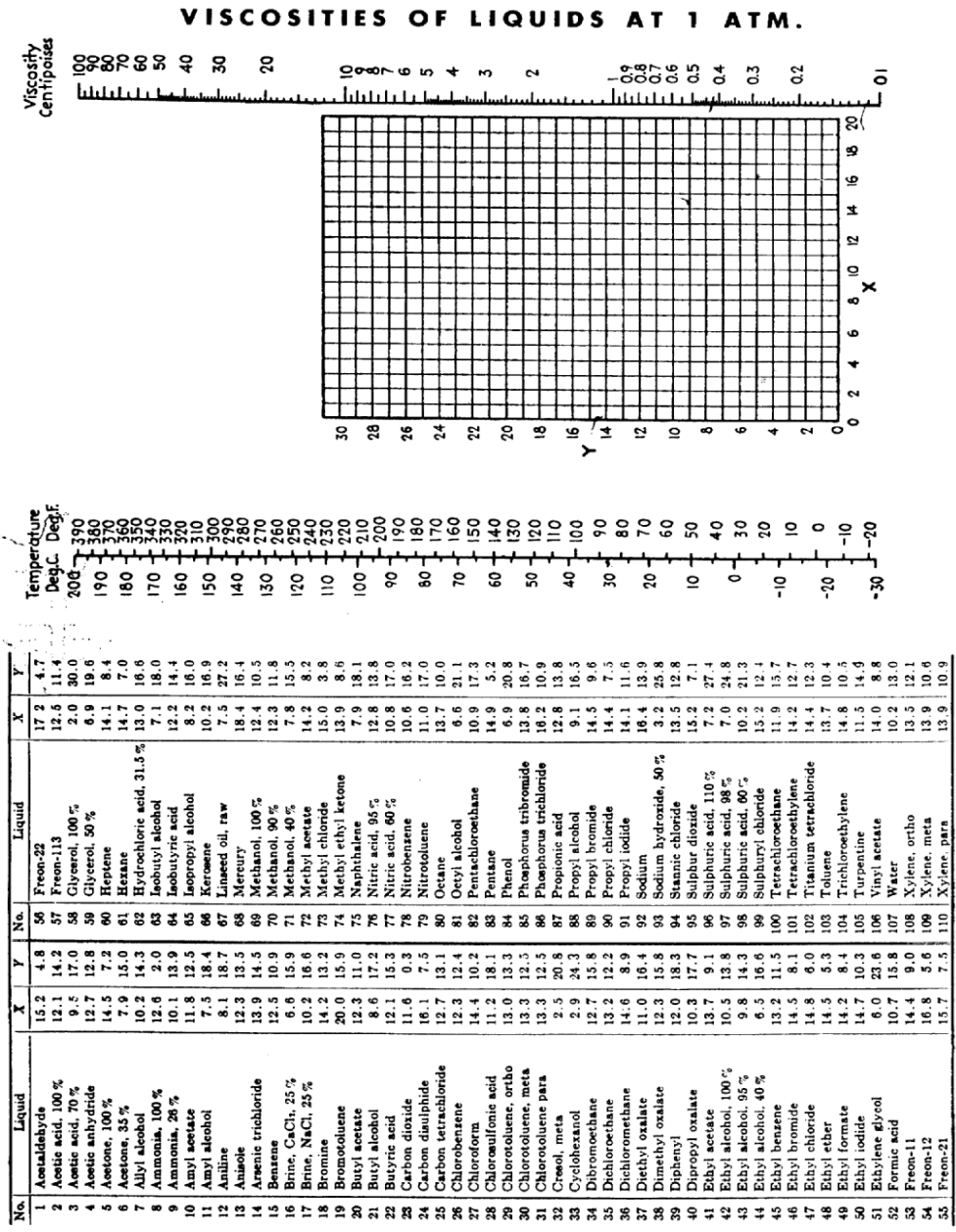
FUENTE: VIEJO ZUBICARAY, Manuel. Energía Hidroeléctrica

**ANEXO D. Turbina Tubular de la Planta TRIER**



FUENTE: VIEJO ZUBICARAY, Manuel. Energía Hidroeléctrica

## ANEXO E. Viscosidad de Líquidos

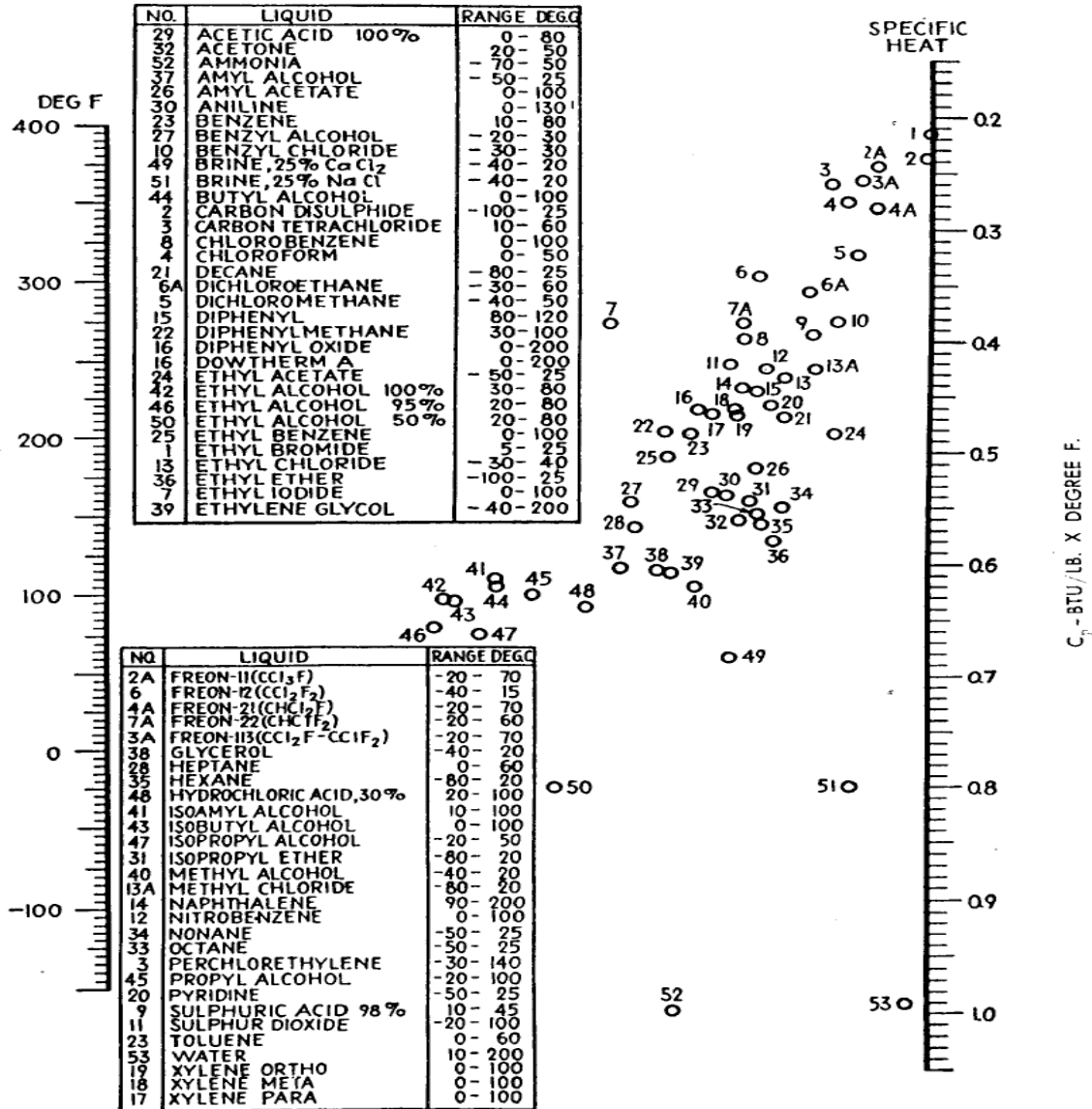


FUENTE: TEMA. Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association



## ANEXO G. Calor Especifico de Líquidos

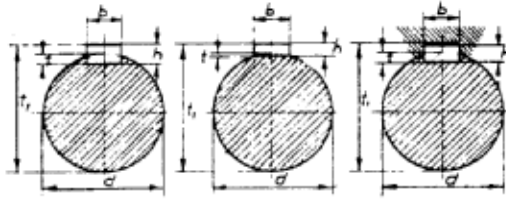
### SPECIFIC HEATS OF LIQUIDS



FUENTE: TEMA. Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association

## ANEXO H. Ranuras, Chavetas y Chaveteros

### Ranuras, chavetas y chaveteros



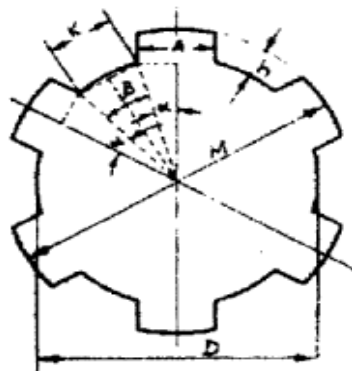
Dio- metro del eje	CHAVETA ENCASTADA				CHAVETA PLANA				CHAVETA				
	Ancho	Alto	Profundidad de la ensilla del eje	Profundidad de la ranura del cubo	Ancho	Alto	Altura del rebaje	Profundidad de la ranura del cubo	Ancho	Alto	Profundidad de la ensilla del eje	Profundidad de la ranura del cubo	
	d	b	h	t	d	b	h	t	d	b	h	t	t <sub>1</sub>
mm	mm												
10- 12	4	4	2,5	d + 1,5	—	—	—	—	4	4	2,5	d + 1,7	
12- 17	5	5	3	d + 2	—	—	—	—	5	5	3	d + 2,2	
17- 22	6	6	3,5	d + 2,5	—	—	—	—	6	6	3,5	d + 2,7	
22- 30	8	7	4	d + 3	8	4	1	d + 3	8	7	4	d + 3,2	
30- 38	10	8	4,5	d + 3,5	10	5	1,5	d + 3,5	10	8	4,5	d + 3,7	
38- 44	12	8	4,5	d + 3,5	12	5	1,5	d + 3,5	12	8	4,5	d + 3,7	
44- 50	14	9	5	d + 4	14	5	1	d + 4	14	9	5	d + 4,2	
50- 58	16	10	5	d + 5	16	6	1	d + 5	16	10	5	d + 5,2	
58- 68	18	11	6	d + 5	18	7	2	d + 5	18	11	6	d + 5,3	
68- 70	20	12	6	d + 6	20	8	2	d + 6	20	12	6	d + 6,3	
78- 92	24	14	7	d + 7	24	9	2	d + 7	24	14	7	d + 7,3	
92-110	28	16	8	d + 8	28	10	2	d + 8	28	16	8	d + 8,3	
110-130	32	18	9	d + 9	32	11	2	d + 9	32	18	9	d + 9,3	
130-150	36	20	10	d + 10	36	13	3	d + 10	36	20	10	d + 10,3	
150-170	40	22	11	d + 11	40	14	3	d + 11	40	22	11	d + 11,3	
170-200	45	25	13	d + 12	45	16	4	d + 12	45	25	13	d + 12,3	

Las chavetas tienen una inclinación de 1 : 100. La medida referente a la altura de la chaveta se refiere a la parte más alta de la cuña.

FUENTE: CASILLAS, A.L. Máquinas-Cálculos de Taller

ANEXO J. Ejes y Agujeros con chavetas sólidas y múltiples.

**Ejes y agujeros con chavetas sólidas y múltiples  
SISTEMAS DE CHAVETAS PARALELAS**



**FORMULAS**

$$K = \text{seno} \left( \frac{360^\circ - 2\alpha^\circ}{N} \right) \times D$$

$$\text{seno } \alpha = \frac{A}{\frac{D}{2}} ; \frac{D}{2} = \frac{A}{D}$$

**DESIGNACION**

- N = Número de chavetas.
- A = Ancho de las chavetas.
- K = Ancho al fondo de las canales.
- D = Diámetro de fondo.
- Si el ángulo  $\beta$  es conocido.

$$K = D \times \text{seno} \frac{\beta}{2}$$

**AJUSTE FIJO**

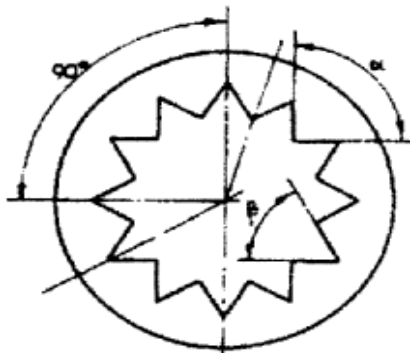
- A = 0.25 x M
- h = 0.05 x M
- D = 0.9 x M

**NORMA USUAL**

**AJUSTE DESLIZANTE**

- A = 0.25 x M
- h = 0.075 x M
- D = 0.850 x M

**Sistema de dientes o entallas en forma de V.**



**FORMULA**

$$\beta = \text{Grados } \alpha - \frac{360^\circ}{N}$$

**EJEMPLO**

Calcular el ángulo  $\beta$  siendo el ángulo del diente  $\alpha = 90^\circ$  y n.º de dientes 60

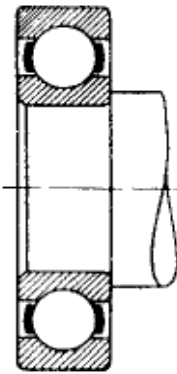
$$\beta = 90 - \frac{360^\circ}{60} = 90 - 6 = 84^\circ$$



## ANEXO L. Tolerancias adecuadas en aplicaciones de rodamientos radiales de bolas y de rodillos para ejes y alojamientos.

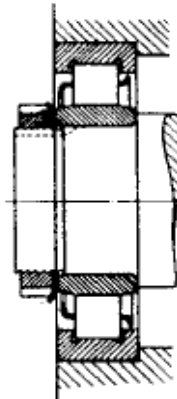
### PARA EJES

Diámetro del eje		Pequeñas cargas				Cargas normales		Cargas muy fuertes. En general cuando el rodamiento recibe choques. (Por ejemplo: cajas de grasa para F. C.)	
		El rodamiento puede montarse sobre el eje sin calentarlo previamente				El rodamiento se calienta en aceite a 70° C., aproximadamente antes de montarlo		El rodamiento se calienta en aceite a 70° C., aproximadamente, antes de montarlo	
Medidas en mm.									
Mayor de	hasta	límite sup.	límite inf.	límite sup.	límite inf.	límite sup.	límite inf.	límite sup.	límite inf.
3	4	+ 0.004	- 0.001	—	—	—	—	—	—
4	10	+ 0.004	- 0.002	—	—	—	—	—	—
10	18	+ 0.005	- 0.003	—	—	—	—	—	—
18	30	—	—	+ 0.011	+ 0.002	—	—	—	—
30	50	—	—	+ 0.013	+ 0.002	+ 0.020	+ 0.009	—	—
50	80	—	—	+ 0.015	+ 0.002	+ 0.024	+ 0.011	+ 0.033	+ 0.020
80	120	—	—	+ 0.018	+ 0.001	+ 0.028	+ 0.013	+ 0.038	+ 0.023
120	180	—	—	+ 0.021	+ 0.003	+ 0.033	+ 0.015	+ 0.045	+ 0.027
180	250	—	—	—	—	+ 0.037	+ 0.017	+ 0.051	+ 0.031
250	315	—	—	—	—	+ 0.043	+ 0.020	+ 0.057	+ 0.034
315	400	—	—	—	—	+ 0.046	+ 0.021	+ 0.062	+ 0.037
Símbolo según el sistema internacional de tolerancias I.S.A.		j5		k5		m5		n5	



### PARA ALOJAMIENTOS

Diámetro interior del soporte		Para transmisiones y otros casos en que los ejes giran a velocidades pequeñas (en general soportes en docimiladas)				En las aplicaciones más corrientes.		Cuando el eje gira a velocidades grandes o si se exige una gran precisión (equilibrado perfecto)	
Medidas en mm.									
Mayor de	hasta	límite inferior	límite superior	límite inferior	límite superior	límite inferior	límite superior	límite inferior	límite superior
5	18	—	—	0	+ 0.018	- 0.005	+ 0.006	—	—
18	30	—	—	0	+ 0.021	- 0.005	+ 0.008	—	—
30	50	0	+ 0.019	0	+ 0.025	- 0.006	+ 0.010	—	—
50	80	0	+ 0.046	0	+ 0.030	- 0.006	+ 0.013	—	—
80	120	0	+ 0.054	0	+ 0.035	- 0.006	+ 0.014	—	—
120	180	0	+ 0.062	0	+ 0.040	- 0.007	+ 0.018	—	—
180	250	0	+ 0.072	0	+ 0.046	—	—	—	—
250	315	0	+ 0.081	0	+ 0.052	—	—	—	—
315	400	0	+ 0.089	0	+ 0.057	—	—	—	—
400	500	0	+ 0.097	0	+ 0.063	—	—	—	—
Símbolo según el sistema internacional de tolerancias I.S.A.		H8		H7		j6			



Los datos indicados en estas tablas son válidos para aplicaciones normales en las que se aprovecha toda la capacidad de carga del rodamiento y que en el eje que gira. En los datos indicados para los ejes se sobreentiende que los rodamientos no son montados sobre mangos de acero o de aluminio, y de aluminio que son montados directamente sobre el eje.

## ANEXO M. Materiales para resortes







<b>MATERIALES PARA RESORTES</b>			
CLASE DE MATERIAL Y USO DEL RESORTE	COMPOSICIÓN (%)	RESISTENCIA DEL MATERIAL EMPLEADO	
		Tipo de resorte Kgs/mm <sup>2</sup>	Límite de elasticidad Kgs/mm <sup>2</sup>
Alambre comercial especial para resortes.	Carbono... 0.50 a 0.65 Manganeso... 0.70 a 1.00 Silicio ..... 0.10 a 0.20	140 a 210	85 a 126
Alambre cuerda de piano para resortes pequeños	Carbono... 0.70 a 1.00 Manganeso... 0.25 a 0.40 Silicio ..... 0.10 a 0.20	175	
Alambre recocido para resortes, con alto contenido de carbono. Muy indicado para válvulas.	Carbono... 0.90 a 1.15 Manganeso... 0.30 a 0.45 Silicio ..... 0.10 a 0.20	175 a 210	105 a 175
Alambre de acero manganeso-silíceo para resortes sujetos a gran fatiga.	Carbono... 0.55 a 0.65 Manganeso... 0.60 a 0.90 Silicio ..... 1.80 a 2.20 Fósforo ... 0.040 Máx. Azufre ... 0.050 Máx.	140 a 175	105 a 126
Acero cromo-vanadio para resortes de válvulas en compresores y motores donde exista elevada temperatura.	Carbono... 0.45 a 0.55 Manganeso... 0.50 a 0.80 Cromo ..... 0.90 a 1.20 Silicio ..... 0.10 a 0.20 Vanadio... 0.15 a 0.20	140 a 210	112 a 175
Acero inoxidable para resortes de alta resistencia a la corrosión y temperaturas hasta 340° C.	Carbono... 0.12 Cromo ..... 17 a 20 Níquel..... 8 a 10	105 a 196	52 a 105
Bronce fosforado para resortes en los cuales el acero se corroe rápidamente.	Estiño ..... 5 a 7 Fósforo ..... 0.5 Cobre, el resto	66	35
Metal aluminio para resortes contra la corrosión y para elevadas temperaturas.	Níquel ..... 66 Cobre ..... 29 Aluminio ..... 2.75 Hierro ..... 0.9 Manganeso... 0.4 Silicio ..... 0.25	100 a 122	
Metal alconel® de excepcional resistencia para altas temperaturas y corrosión.	Níquel ..... 79.5 Cromo ..... 11 Hierro ..... 6.5 Cobre ..... 0.2 Silicio ..... 0.25 Manganeso... 0.25	115 a 129	

Véase tabla de fórmulas de resistencia prácticas a factor de seguridad de los metales

FUENTE: CASILLAS, A.L. Máquinas-Cálculos de Taller

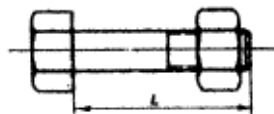
ANEXO N. Peso por metro y sección en mm<sup>2</sup> de barras redondas y cuadradas de acero

**ACEROS**  
Peso en kilos por metro, y sección en mm<sup>2</sup> de las barras redondas y cuadradas

Diámetro o lado D mm	Longitud de la circunferencia de diámetro D	Sección en mm <sup>2</sup>		Peso en Kgs. x metro		Diámetro o lado D mm	Longitud de la circunferencia de diámetro D	Sección en mm <sup>2</sup>		Peso en Kgs. x metro	
											
41	128.805	1320.75	1.681	10.36	13.20	61	191.54	2922.47	3.721	22.94	29.21
42	131.95	1385.44	1.764	10.88	13.85	62	194.78	3019.07	3.844	23.70	30.18
43	135.09	1452.20	1.849	11.40	14.51	63	197.92	3117.25	3.969	24.47	31.16
44	138.23	1520.58	1.936	11.94	15.20	64	201.06	3216.99	4.069	25.25	32.15
45	141.37	1590.43	2.025	12.48	15.90	65	204.20	3318.31	4.225	26.05	33.17
46	144.51	1661.90	2.116	13.05	16.61	66	207.35	3421.19	4.356	26.86	34.19
47	147.65	1734.94	2.209	13.62	17.34	67	210.49	3525.65	4.489	27.68	35.24
48	150.80	1809.56	2.304	14.21	18.09	68	213.63	3631.68	4.624	28.51	36.30
49	153.94	1885.74	2.401	14.80	18.85	69	216.77	3739.28	4.761	29.35	37.39
50	157.08	1963.50	2.500	15.41	19.63	70	219.91	3848.45	4.900	30.21	38.47
51	170.22	2042.82	2.601	16.04	20.42	71	223.05	3959.19	5.041	31.08	39.57
52	173.36	2123.72	2.704	16.67	21.23	72	226.19	4071.50	5.184	31.94	40.69
53	176.50	2206.18	2.809	17.32	22.05	73	229.34	4185.39	5.329	32.86	41.83
54	179.65	2290.22	2.916	17.98	22.89	74	232.48	4300.84	5.476	33.76	42.99
55	172.79	2375.83	3.025	18.65	23.75	75	235.62	4417.86	5.625	34.68	44.16
56	175.93	2463.01	3.136	19.33	24.62	76	238.76	4536.46	5.776	35.61	45.34
57	179.07	2551.76	3.249	20.03	25.50	77	241.90	4656.63	5.929	36.55	46.54
58	182.21	2642.08	3.364	20.74	26.41	78	245.04	4778.36	6.084	37.51	47.76
59	185.35	2733.97	3.481	21.46	27.33	79	248.19	4901.67	6.241	38.48	48.99
60	188.50	2827.43	3.600	22.20	28.26	80	251.33	5026.55	6.400	39.46	50.24

FUENTE: CASILLAS, A.L. Máquinas-Cálculos de Taller

**ANEXO P. Peso de tornillos de hierro forjado con rosca Whitworth corriente**



Este peso se refiere a tornillo con su tuerca, según se indica en el dibujo.

**PESO EN KILOGRAMOS**

Longitud L en pulgadas	DIAMETRO DEL TORNILLO													
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$	1"	1 $\frac{1}{8}$	1 $\frac{1}{4}$	1 $\frac{3}{8}$	1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{3}{4}$	2"	
$\frac{3}{4}$	0,014	0,035	0,079											
$\frac{7}{8}$	0,015	0,040	0,082											
1"	0,016	0,042	0,085	0,157										
1 $\frac{1}{8}$	0,017	0,044	0,085	0,157	0,251									
1 $\frac{1}{4}$	0,018	0,045	0,092	0,161	0,257	0,385								
1 $\frac{3}{8}$	0,0125	0,047	0,095	0,166	0,265	0,394	0,558							
1 $\frac{1}{2}$	0,019	0,052	0,104	0,177	0,277	0,408	0,572	0,730						
1 $\frac{3}{4}$	0,020	0,056	0,110	0,187	0,291	0,427	0,599	0,762	1,057					
2"	0,021	0,059	0,117	0,197	0,306	0,446	0,671	0,794	1,103	1,407				
2 $\frac{1}{4}$	0,023	0,063	0,123	0,207	0,320	0,463	0,649	0,826	1,114	1,452	1,825			

**NOTA** — Las longitudes dadas son las de fabricación normal.

FUENTE: CASILLAS, A.L. Máquinas-Cálculos de Taller



## ANEXO Q. Símbolos Estándar de Soldadura

Símbolos blancos para soldadura y el superficie de su colocación								
Símbolo	Forma							Superficie de referencia
Ángulo	Escuadra	En Y	En U	En U	En J	V abisurada	Suel abisurada	
								Lado de la flecha
								Lado opuesto
								Ambos lados
								No se indica lado de flecha y reverso
Símbolos blancos de soldadura								
Símbolo para ranura en ranura			Símbolo para ranura controlada			Símbolo para V abisurada y suel y ranura abisurada		
<p>Profundidad de ranura en ranura (Siempre está en ranura)</p>			<p>Dimensiones, abisurada y abisurada excepto profundidad de ranura en ranura</p>			<p>Abisurada de ranura</p>		
Símbolo para soldadura de tope			Símbolo de línea orientada de tope			Símbolos para bridas de tope y brida		
<p>Ángulo inclina de abisurada</p>			<p>Para abisurada entre ranuras de abisurada</p>			<p>Abisurada de ranura</p>		
<p>Tamaño mínimo de espesor de ranura</p>			<p>Para abisurada entre ranuras de abisurada</p>			<p>Abisurada de ranura</p>		
Símbolo sobre punto de longitud			Símbolo para soldadura a la intemperia			Símbolo para recubrir o indicar superficie recubierta		
<p>3/8 (7.5)</p>			<p>Con cualquier símbolo aplicable soldadura de ranura</p>			<p>Tamaño mínimo de abisurada. La abisurada indica no se debe abisurar superficialmente</p>		
<p>No insertar lado de la flecha o a reverso</p>			<p>Para abisurada entre ranuras de abisurada</p>			<p>Abisurada de ranura</p>		
Símbolo para soldadura por puntos			Símbolo para ranura con doble base					
<p>Tamaño mínimo de soldadura. Se puede usar resistencia en la</p>			<p>La flecha apunta a la parte que se debe preparar</p>					
<p>Usar la referencia al proceso demandado</p>			<p>La posición del tamaño indica profundidad total de penetración que a espesor de placa</p>					
Símbolo para soldadura de costura			Símbolo para soldadura por proyección					
<p>Longitud de soldadura y abisurada</p>			<p>Para abisurada entre ranuras de abisurada</p>					
<p>Tamaño mínimo de soldadura. Se puede usar resistencia en la</p>			<p>Para abisurada entre ranuras de abisurada</p>					
<p>Usar la referencia al proceso demandado</p>			<p>Para abisurada entre ranuras de abisurada</p>					
Símbolos para soldadura Simbólica			Símbolo para soldadura de doble línea					
			<p>Longitud. Siempre indicar que la soldadura se aplica cualquier abisurada de ranura y a la demanda de</p>					
			<p>Funcionalización de proceso a esta referencia</p>					

FUENTE: ROSALER, Robert C. Manual de Mantenimiento Industrial

## ANEXO R. Sistema de Clasificación de la AWS para electrodos revestidos de acero dulce y baja aleación.

A. El prefijo E indica electrodo  
 B. Los dos o tres primeros dígitos: propiedades mecánicas

Clasificación	Resistencia máxima a la tracción, lb/in <sup>2</sup> (MPa)	Resistencia mínima a la cedencia, lb/in <sup>2</sup> (MPa)	Alargamiento mínimo, %
E60XX	62 000 (427)	50 000 (345)	22
E70XX	70 000 (483)	57 000 (393)	22
E80XX	80 000 (552)	67 000 (462)	19
E90XX	90 000 (621)	77 000 (531)	17
E100XX	100 000 (690)	87 000 (600)	16
E110XX*	110 000 (758)	97 000 (669)	15
E120XX*	120 000 (827)	107 000 (738)	14

C. Tercero (o cuarto dígito) indica la posición para soldar  
 EXX1X: plana, horizontal, vertical y sobre la cabeza  
 EXX2X: plana y horizontal de filete  
 D. El último dígito indica la corriente que se debe usar

Clasificación	Corriente	Arco	Penetración	Escoria cubriente	Polvo de hierro, %*
EXX10	ccpi	Excavar	Profunda	Celulosa-sodio	0-10
EXX11	ca; ccpi	Excavar	Profunda	Celulosa-potasio	0
EXX12	ca; ccpd	Mediano	Mediano	Rutilo-sodio	0-10
EXX13	ca; ccpd; ccpi	Suave	Ligero	Rutilo-potasio	0-10
EXX14	ca; ccpd; ccpi	Suave	Ligero	Rutilo-polvo de hierro	25-40
EXX15	ccpi	Mediano	Mediano	Bajo hidrógeno-sodio	0
EXX16	ca; ccpi	Mediano	Mediano	Bajo hidrógeno-potasio	0
EXX18	ca; ccpi	Mediano	Mediano	Bajo hidrógeno-polvo de hierro	25-40
EXX20 y EXX22 (una pasada)	ca; ccpd; ccpi	Mediano	Mediano	Óxido de hierro-sodio	0
EXX24	ca; ccpd; ccpi	Suave	Ligero	Rutilo-polvo de hierro	50
EXX27	ca; ccpd; ccpi	Mediano	Mediano	Óxido de hierro-polvo de hierro	50
EXX28	ca; ccpi	Mediano	Mediano	Bajo hidrógeno-polvo de hierro	50
EXX48 (vertical descendente)	ca; ccpi	Mediano	Mediano	Bajo hidrógeno-polvo de hierro	25-50

\* Sólo revestimiento del tipo de bajo hidrógeno.

† ccpi = polaridad inversa (electrodo positivo); ccpd = polaridad directa (electrodo negativo).

\* Porcentaje de polvo de hierro basado en el peso del revestimiento.

FUENTE: ROSALER, Robert C. Manual de Mantenimiento Industrial

## ANEXO S. Selección de electrodos para soldar aceros inoxidable

Análisis químico del acero inoxidable, %							
No. AISI	Carbono	Manganeso	Silicio	Cromo	Níquel	Otros elementos	No. de electrodo Hobart
<b>Austenítico</b>							
201	0.15 máx.	5.5-7.5	1.0	16.0-18.0	3.5-5.5	N <sub>2</sub> 0.25 máx.	308
202	0.15 máx.	7.5-10.	1.0	17.0-19.0	4.0-6.0	N <sub>2</sub> 0.25 máx.	308
301	0.15 máx.	2.0	1.0	16.0-18.0	6.0-8.0	---	308
302	0.15 máx.	2.0	1.0	17.0-19.0	8.0-10.0	---	308
302B	0.15 máx.	2.0	2.0-3.0	17.0-19.0	8.0-10.0	---	308
303	0.15 máx.	2.0	1.0	17.0-19.0	8.0-10.0	S 0.15 mín.	308DC
303Se	0.15 máx.	2.0	1.0	17.0-19.0	8.0-10.0	Se 0.15 mín.	308DC
304	0.08 máx.	2.0	1.0	18.0-20.0	8.0-12.0	---	308
304L	0.03 máx.	2.0	1.0	18.0-20.0	8.0-12.0	---	308L
306	0.12 máx.	2.0	1.0	17.0-19.0	10.0-13.0	---	308
308	0.08 máx.	2.0	1.0	19.0-21.0	10.0-12.0	---	308
309	0.20 máx.	2.0	1.0	22.0-24.0	12.0-15.0	---	309
309B	0.08 máx.	2.0	1.0	22.0-24.0	12.0-15.0	---	309
310	0.25 máx.	2.0	1.50	24.0-26.0	19.0-22.0	---	310
310B	0.08 máx.	2.0	1.50	24.0-26.0	19.0-22.0	---	310
314	0.25 máx.	2.0	1.5-3.0	23.0-26.0	19.0-22.0	---	310DC
316	0.08 máx.	2.0	1.0	16.0-18.0	10.0-14.0	Mo 2.0/3.0	316
316L	0.03 máx.	2.0	1.0	16.0-18.0	10.0-14.0	Mo 2.0/3.0	316L
317	0.08 máx.	2.0	1.0	18.0-20.0	11.0-15.0	Mo 3.0/4.0	317
321	0.08 máx.	2.0	1.0	17.0-19.0	9.0-12.0	Ti 5 x C mín.	347
347	0.08 máx.	2.0	1.0	17.0-19.0	9.0-13.0	Cb + Ta 10 C mín.	347
348	0.08 máx.	2.0	1.0	17.0-19.0	9.0-13.0	Ta 0.10 máx.	347
<b>Martenítico</b>							
403	0.15 máx.	1.0	0.5	11.5-13.0	---	---	410
410	0.15 máx.	1.0	1.0	11.5-13.5	---	---	410
414	0.15 máx.	1.0	1.0	11.5-13.5	1.25-2.5	---	410
416	0.15 máx.	1.25	1.0	12.0-14.0	---	S 0.15 mín.	410DC
416Se	0.15 máx.	1.25	1.0	12.0-14.0	---	Se 0.15 mín.	410DC
420	máx de 0.15	1.0	1.0	12.0-14.0	---	---	410
431	0.20 máx.	1.0	1.0	15.0-17.0	1.25-2.5	---	430
440A	0.60-0.75	1.0	1.0	16.0-18.0	---	Mo 0.75 máx.	---
440B	0.75-0.96	1.0	1.0	16.0-18.0	---	Mo 0.75 máx.	---
440C	0.95-1.2	1.0	1.0	16.0-18.0	---	Mo 0.75 máx.	---
<b>Ferrítico</b>							
405	0.08 máx.	1.0	1.0	11.5-14.5	---	Al 0.1/0.3	410
430	0.12 máx.	1.0	1.0	14.0-18.0	---	---	430
430F	0.12 máx.	1.25	1.0	14.0-18.0	---	S 0.15 mín.	430DC
430FSe	0.12 máx.	1.25	1.0	14.0-18.0	---	Se 0.15 mín.	430DC
446	0.20 máx.	1.50	1.0	23.0-27.0	---	N 0.25 máx.	309

FUENTE: ROSALER, Robert C. Manual de Mantenimiento Industrial

**ANEXO T. Composición química y propiedades mecánicas de láminas y planchas  
Hot Rolled**

DESIGNACION		COMPOSICION QUIMICA						
APLICACIONES	ASTM	DIN 17100	C	Mn	Si	Cu	S max	P max
Estructuras en General.	A - 36	ST 33-1.2	0.29 max	0.85-1.2	0.15-0.4	0.2	0.05	0.04
Tanques de almacenamiento.	A-283 Gr. C	RST 37-1.2	0.18 max			0.2	0.05	0.04
Construcción naval en general.	A-131 Gr. A	RST 34-1.2	0.26				0.05	0.05
Recipientes a presión de baja a intermedia resistencia a la tracción.	A-285 Gr. C	DIN 17155	0.28 max	0.9 max			0.035	0.040
Recipientes a presión para servicios a temperaturas intermedias y altas.	A-515 Gr. 70		0.35 max	1.2 max	0.15	0.3	0.035	0.040
Resistencia a la abrasión.	A-514 Gr. A	RQT	0.20 max	1.50 max	0.50 max	B Nb 0.003 - 0.06	Ti 0.015-0.04	0.035

DESIGNACION		PROPIEDADES MECANICAS		
APLICACIONES	ASTM	RESISTENCIA A LA TRACCION	LIMITE ELASTICO	ALARGAMIENTO 200mm 50 mm
Estructuras en General.	A - 36	36-51 Kg/mm <sup>2</sup>	23-25 Kg/mm <sup>2</sup>	20 23
Tanques de almacenamiento.	A-283 Gr. C	35-42 Kg/mm <sup>2</sup>	19 Kg/mm <sup>2</sup>	22 25
Construcción naval en general.	A-131 Gr. A	37-46 Kg/mm <sup>2</sup>	23 Kg/mm <sup>2</sup>	21 25
Recipientes a presión de baja a intermedia resistencia a la tracción.	A-285 Gr. C	35-48 Kg/mm <sup>2</sup>	19 Kg/mm <sup>2</sup>	23 27
Recipientes a presión para servicios a temperaturas intermedias y altas.	A-515 Gr. 70	45-58 Kg/mm <sup>2</sup>	23-27 Kg/mm <sup>2</sup>	17 21
Resistencia a la abrasión.	A-514 Gr. A	71-87 Kg/mm <sup>2</sup>	64 Kg/mm <sup>2</sup>	19

FUENTE: COMPAÑÍA GENERAL DE ACEROS. Catálogo de Productos

ANEXO U. Norma ASTM A6/A 6M Perfiles W ó H

DESIGNATION (Nominal Depth in Inches and Weight in Pounds per Linear Foot)	Area A. In. <sup>2</sup>	Depth <i>d</i> . In.	Flange		Web Thickness <i>T<sub>w</sub></i> In.
			Width <i>b<sub>f</sub></i> . In.	Thickness <i>T<sub>f</sub></i> In.	
W 10X 45	13.3	10.10	8.020	0.620	0.350
X 39	11.5	9.92	7.985	0.530	0.315
X 33	9.71	9.73	7.960	0.435	0.290
W 10X 30	8.84	10.47	5.810	0.510	0.300
X 26	7.61	10.33	5.770	0.440	0.260
X 22	6.49	10.17	5.750	0.360	0.240
W 10 X 19	5.62	10.24	4.020	0.395	0.250
X 17	4.99	10.11	4.010	0.330	0.240
X 15	4.41	9.99	4.000	0.270	0.230
X 12	3.54	9.87	3.960	0.210	0.190
W 8X 67	19.7	9.00	8.280	0.935	0.570
X 58	17.1	8.75	8.220	0.810	0.510
X 48	14.1	8.50	8.110	0.685	0.400
X 40	11.7	8.25	8.070	0.560	0.360
X 35	10.3	8.12	8.020	0.495	0.310
X 31	9.13	8.00	7.995	0.435	0.285
W 8X 28	8.25	8.06	6.535	0.465	0.285
X 24	7.08	7.93	6.495	0.400	0.245
W 8X 21	6.16	8.28	5.270	0.400	0.250
X 18	5.26	8.14	5.250	0.330	0.230
W 8X 15	4.44	8.11	4.015	0.315	0.245
X 13	3.84	7.99	4.000	0.255	0.230
X 10	2.96	7.89	3.940	0.205	0.170
W 6X 25	7.34	6.38	6.080	0.455	0.320
X 20	5.87	6.20	6.020	0.365	0.260
X 15	4.43	5.99	5.990	0.260	0.230
W 6X 16	4.74	6.28	4.030	0.405	0.260
X 12	3.55	6.03	4.000	0.280	0.230
X 9	2.68	5.90	3.940	0.215	0.170
W 5X 19	5.54	5.15	5.030	0.430	0.270
X 16	4.68	5.01	5.000	0.360	0.240
W 4X 13	3.83	4.16	4.060	0.345	0.280

FUENTE: COMPAÑÍA GENERAL DE ACEROS. Catálogo de Productos