

**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 ² 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 inoxidable. | 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 mm³.

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.

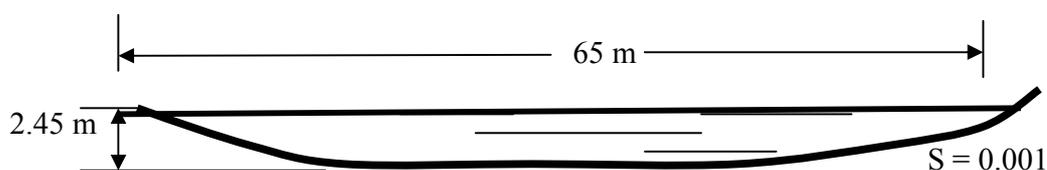


Figura 1. Sección transversal promedio del Canal del Dique en Gambote (Estación de Bombeo Aguas de Cartagena S.A. E.S.P.)

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 doblez 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.

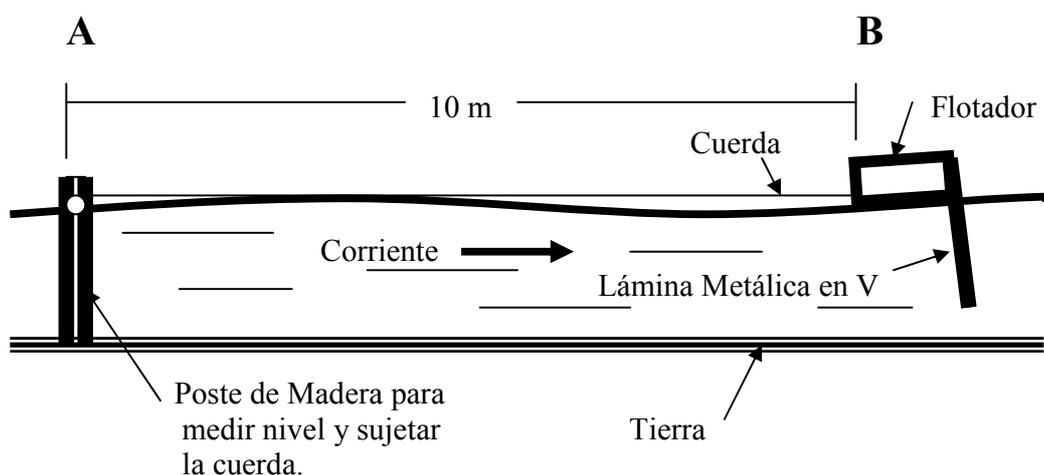


Figura 2. Sistema de medición de velocidad del agua.

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 ² | P M | Rh m | Manning m / s | Chezy m / s | Ve m / s | Q m ³ / 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

ρ = Densidad (Kg / m³)

Q = Caudal (m³ / sg)

E_H = Energía Hidráulica (m² / sg²)

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 ω 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 ω , 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.

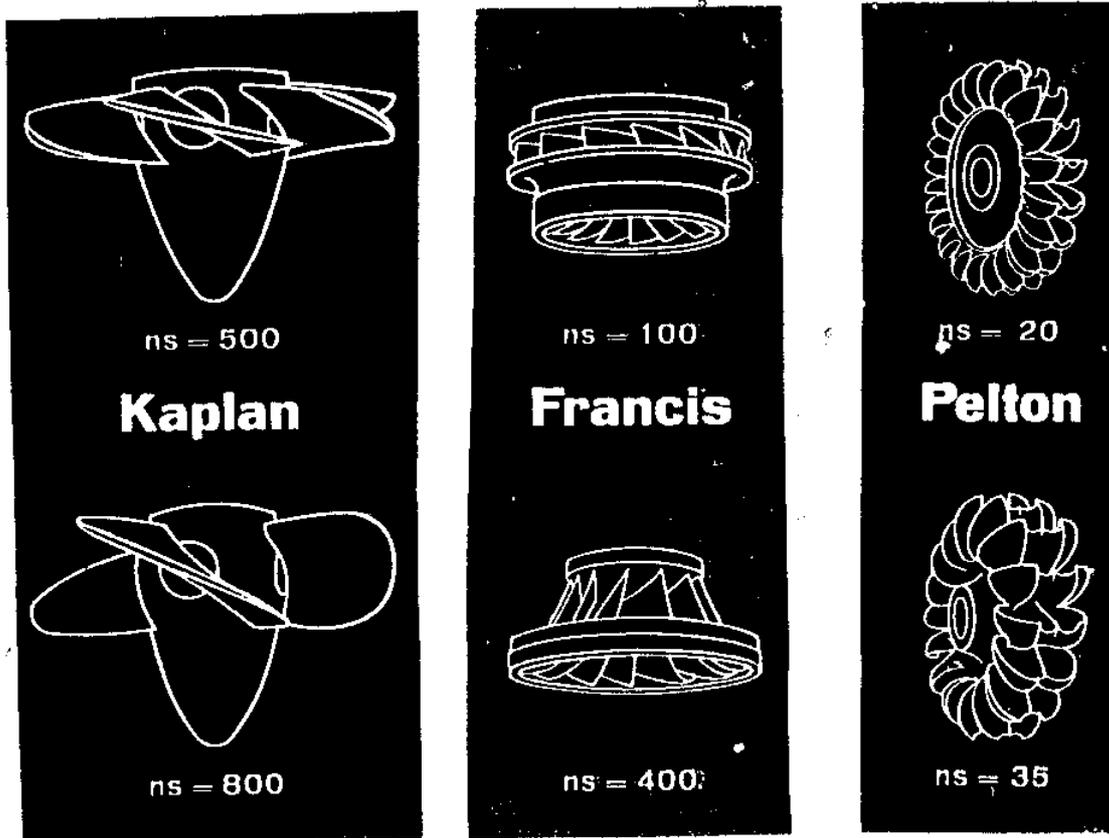


Figura 3. Diferentes tipos de Rodetes de Turbinas.
 FUENTE: VIEJO ZUBICARAY, Manuel. Energía Hidroeléctrica

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° , pudiendo variar entre 20° y 50° en términos generales. El alabeo en los bordes de ataque y de fuga se define por los valores de los ángulos β_1 y β_2 , a lo largo de dichos bordes (Figura 4).

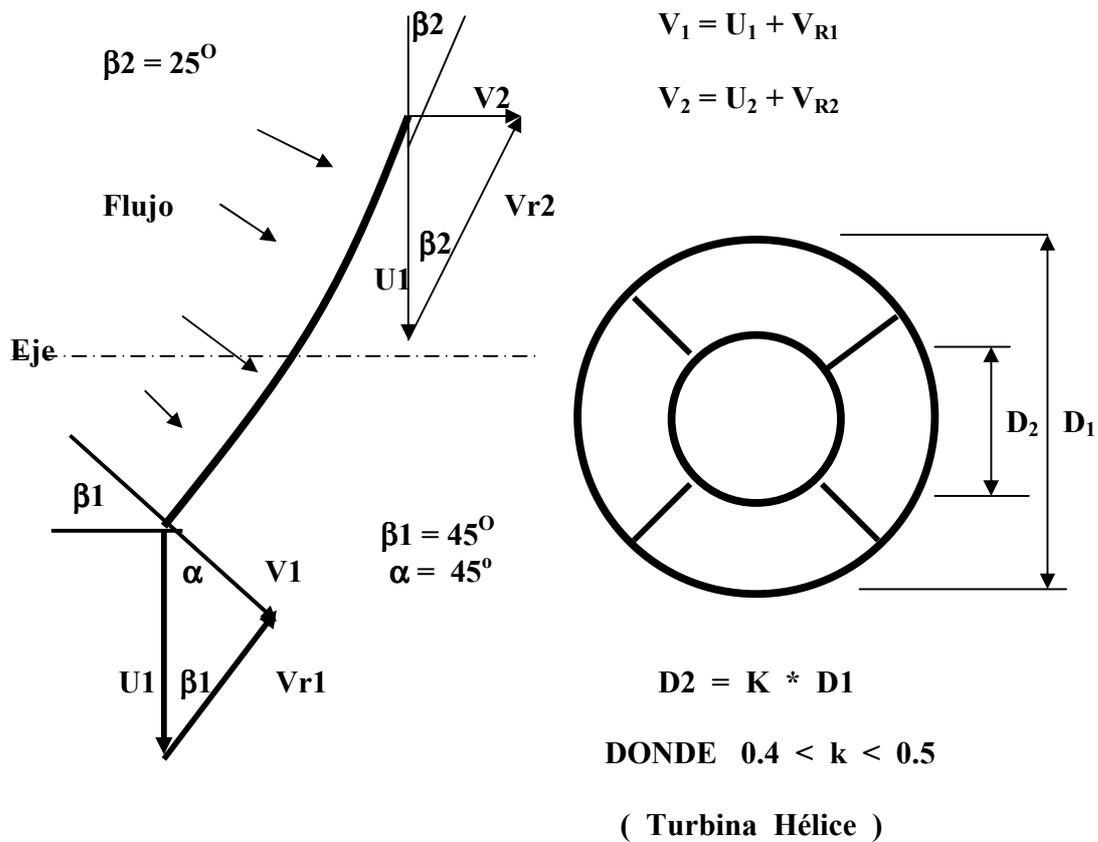


Figura 4. Diagrama de velocidades de la turbina.

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

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

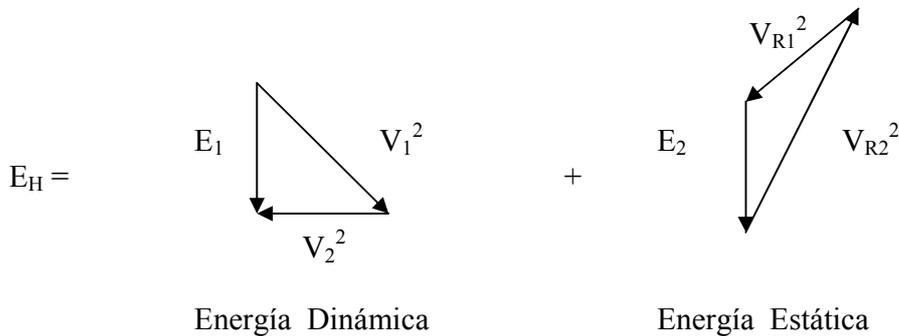
O también

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

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_H. Para diferentes valores del diámetro de la turbina tenemos:

Cuadro 2. Caudal en función de la Potencia Hidráulica.

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

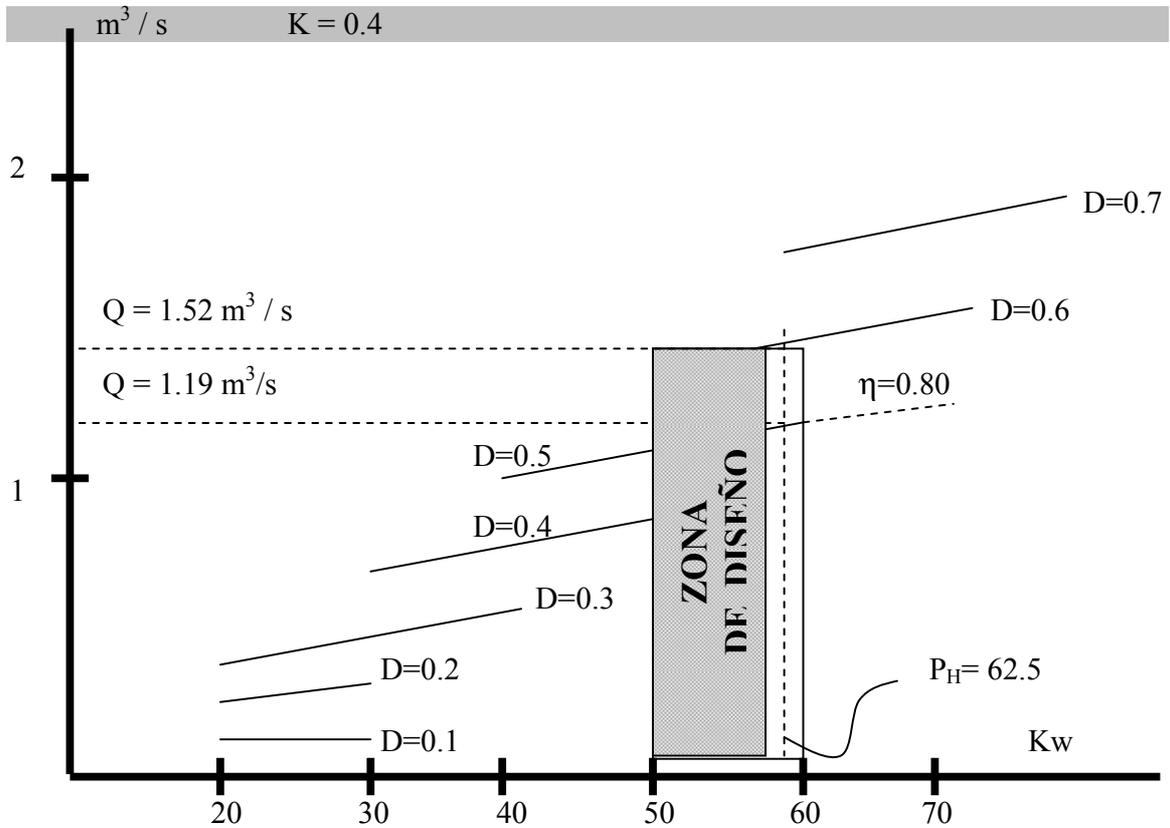


Figura 5. Gráfica de Potencia Hidráulica contra Caudal.

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.

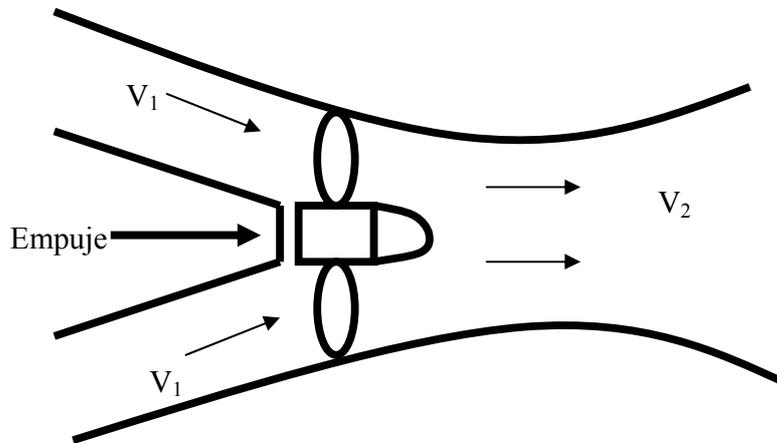


Figura 6. Distribuciones de fuerza y velocidad de la turbina.

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

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

- ρ : 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.

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 m^3/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

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

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

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

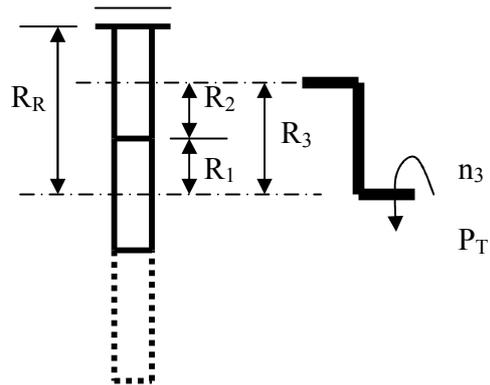
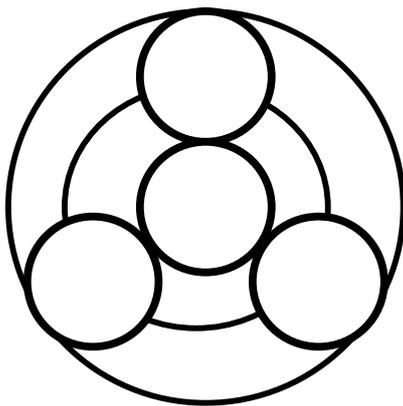
$$n = 389.61 \text{ RPM} \approx 380 \text{ RPM}$$

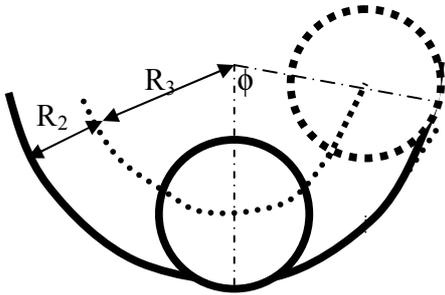
La velocidad rotacional de la turbina se fija en 380 RPM.

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

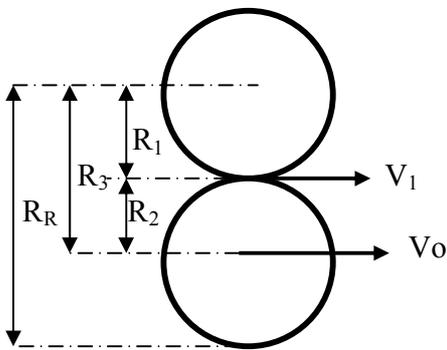




$$L_R = \overline{OO'}$$

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

$$n_2 * R_2 = n_3 * R_3$$



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

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

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

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.

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

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

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

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

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

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

- γ = 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.

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

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

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

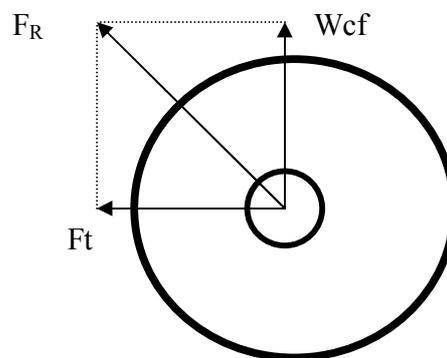


Figura 9. Diagrama de Cuerpo Libre – Planetarios.

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_R 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 Se

Se = Ka * Kb * Kc * Kd * Ke * S'e

Seleccionamos Hierro Fundido ASTM 20

Sut = 151.69 Mpa ; Sy = 96.53 Mpa ; Se = 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

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

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

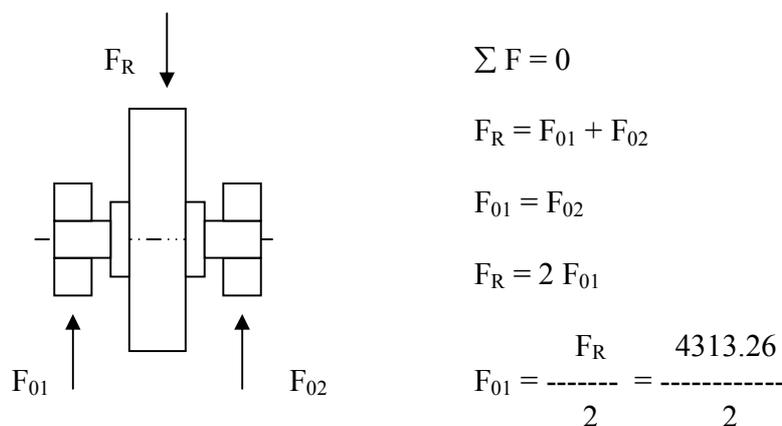


Figura 10. Diagrama de Cuerpo Libre – Rodamientos Planetarios.

$F_{01} = 2156.63 \text{ N}$ (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.

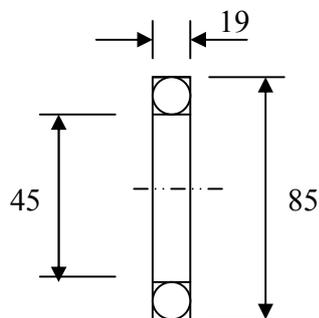
$f_d = 1.2$; Máquinas que trabajan sin cargas de choque, como máquinas eléctricas y turbinas.

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

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

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

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).



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

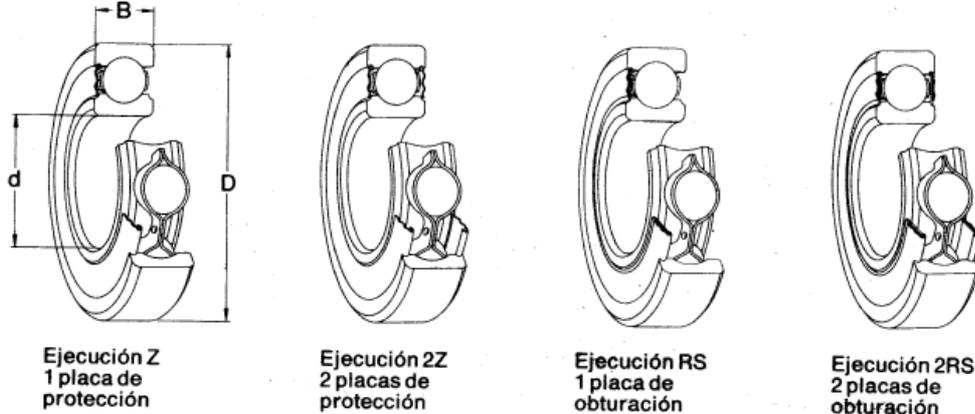
$$C_o = 18600 \text{ N}$$

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 ₀ | Ejecución Z, 2Z | Z | RS, 2RS | | Ejecución Z | 2Z | RS | 2RS |
| mm | | | N (1 N = 0,102 kgf) | | r/min | | | kg | — | | | |
| 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

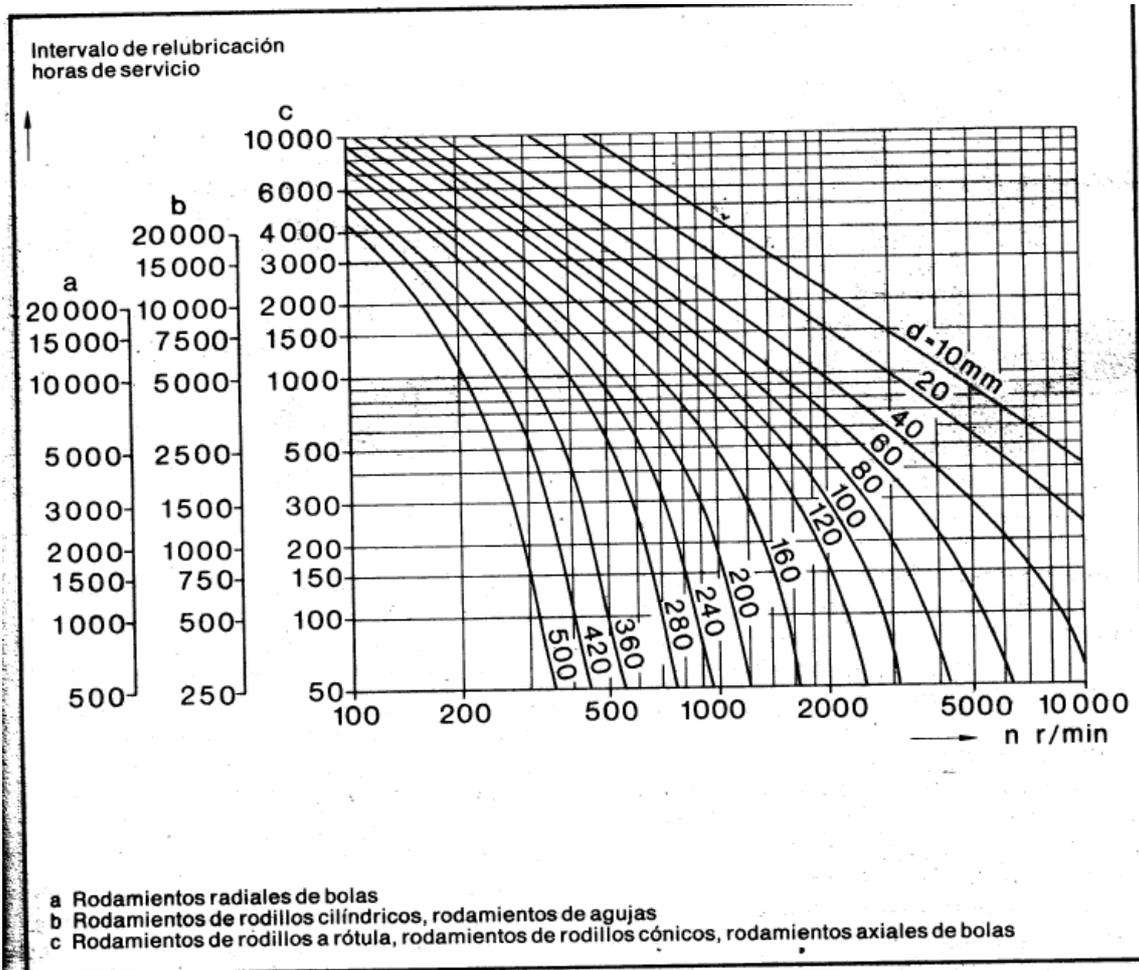


Figura 12. Intervalos de Relubricación para Rodamientos.

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 ² (Mpa) | MATERIAL Y MODULO DE ELASTICIDAD DEL ENGRANE Eg, Lb/in ² (Mpa) | | | | | |
|---------------------------|--|---|---|--|--|--|--|
| | | ACERO 30 X 10 ⁶ (2 X 10 ⁵) | HIERRO MALEABLE 25 X 10 ⁶ (1.7 X 10 ⁵) | HIERRO NODULAR 24 X 10 ⁶ (1.7 X 10 ⁵) | HIERRO FUNDIDO 22 X 10 ⁶ (1.5 X 10 ⁵) | BRONCE DE ALUMINIO 17.5 X 10 ⁶ (1.2 X 10 ⁵) | BRONCE DE ESTAÑO 16 X 10 ⁶ (1.1 X 10 ⁵) |
| Acero | 30 X 10 ⁶ (2 X 10 ⁵) | 2300 (191) | 2180 (181) | 2160 (179) | 2100 (174) | 1950 (162) | 1900 (158) |
| Hierro maleable | 25 X 10 ⁶ (1.7 X 10 ⁵) | 2180 (181) | 2090 (174) | 2070 (172) | 2020 (168) | 1900 (158) | 1850 (154) |
| Hierro nodular | 24 X 10 ⁶ (1.7 X 10 ⁵) | 2160 (179) | 2070 (172) | 2050 (170) | 2000 (166) | 1880 (156) | 1830 (152) |
| Hierro fundido | 22 X 10 ⁶ (1.5 X 10 ⁵) | 2100 (174) | 2020 (168) | 2000 (166) | 1960 (163) | 1850 (154) | 1800 (149) |
| Bronce de aluminio | 17.5 X 10 ⁶ (1.2 X 10 ⁵) | 1950 (162) | 1900 (158) | 1880 (156) | 1850 (154) | 1750 (145) | 1700 (141) |
| Bronce de estaño | 16 X 10 ⁶ (1.1 X 10 ⁵) | 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 |
| Uniforme | 1.00 | 1.25 | 1.75 |
| Choques ligeros | 1.25 | 1.50 | 2.00 |
| Choques medianos | 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.

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

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

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

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

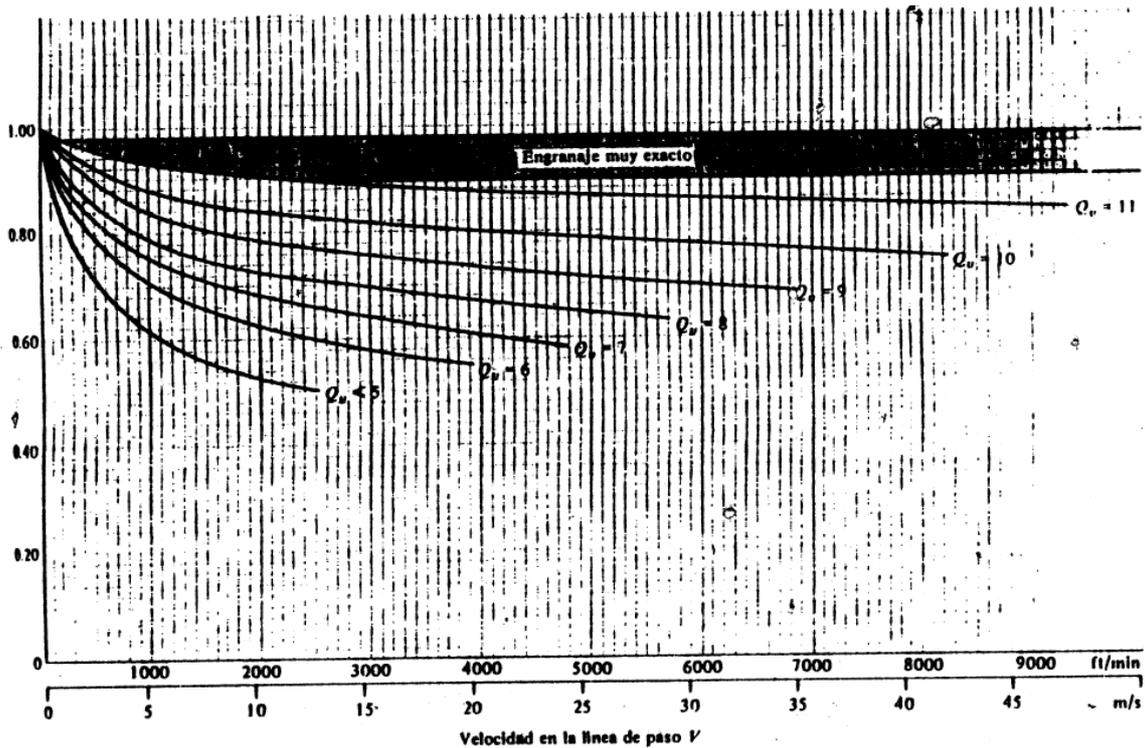


Figura 13. Factores Dinámicos C_v y K_v .
Fuente: AGMA 218.01

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.

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

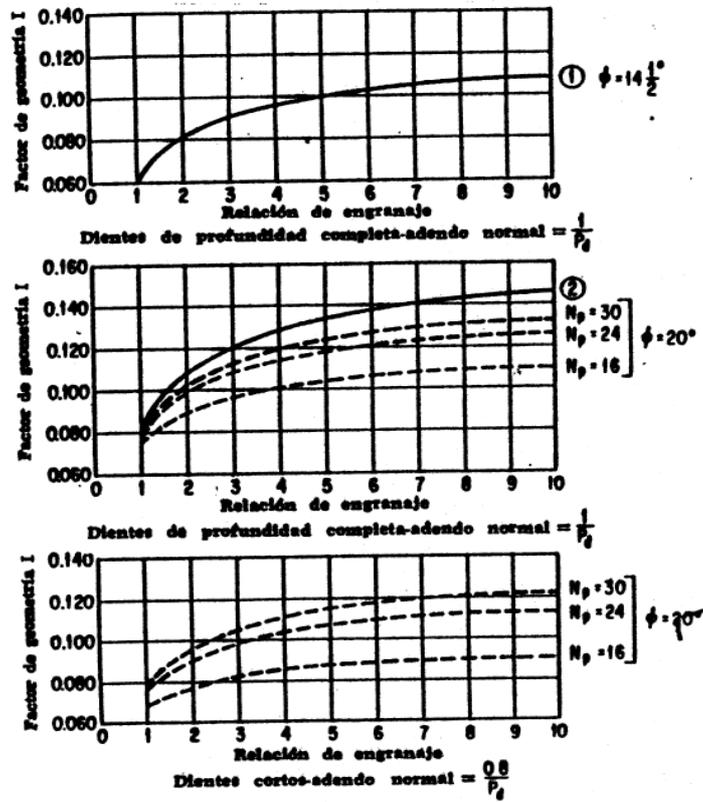


Figura 14. Factor de Geometría I
FUENTE: SHIGLEY, Joseph. Diseño en Ingeniería Mecánica.

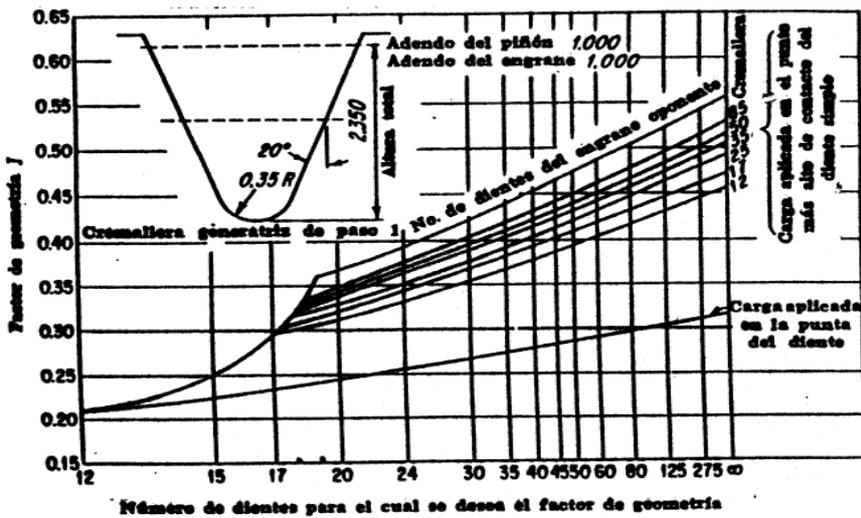


Figura 15. Factor de Geometría J
FUENTE: SHIGLEY, Joseph. Diseño en Ingeniería Mecánica.

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.

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

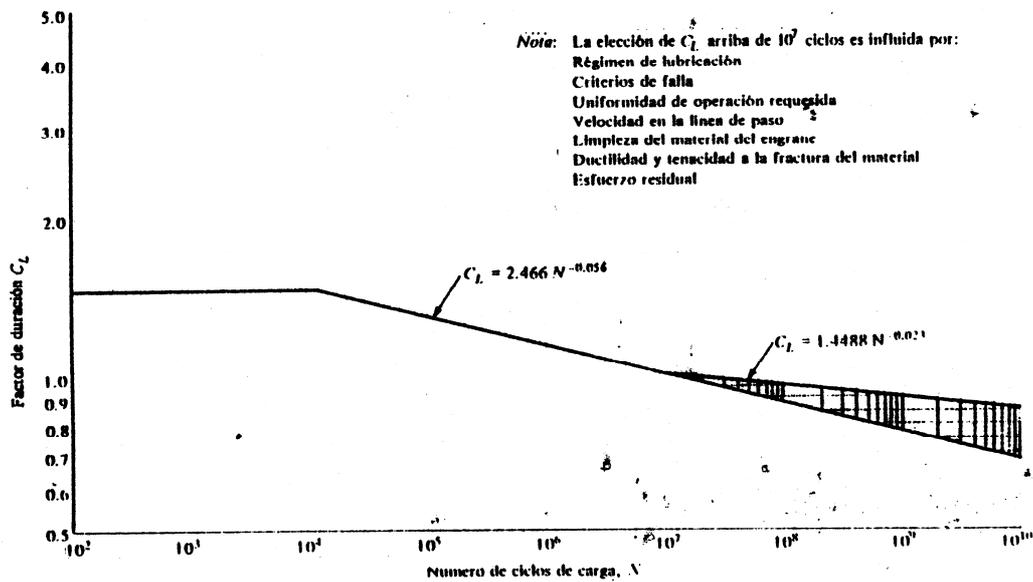


Figura 16. Factor de duración de resistencia a la picadura C_L
 FUENTE: SHIGLEY, Joseph. Diseño en Ingeniería Mecánica.

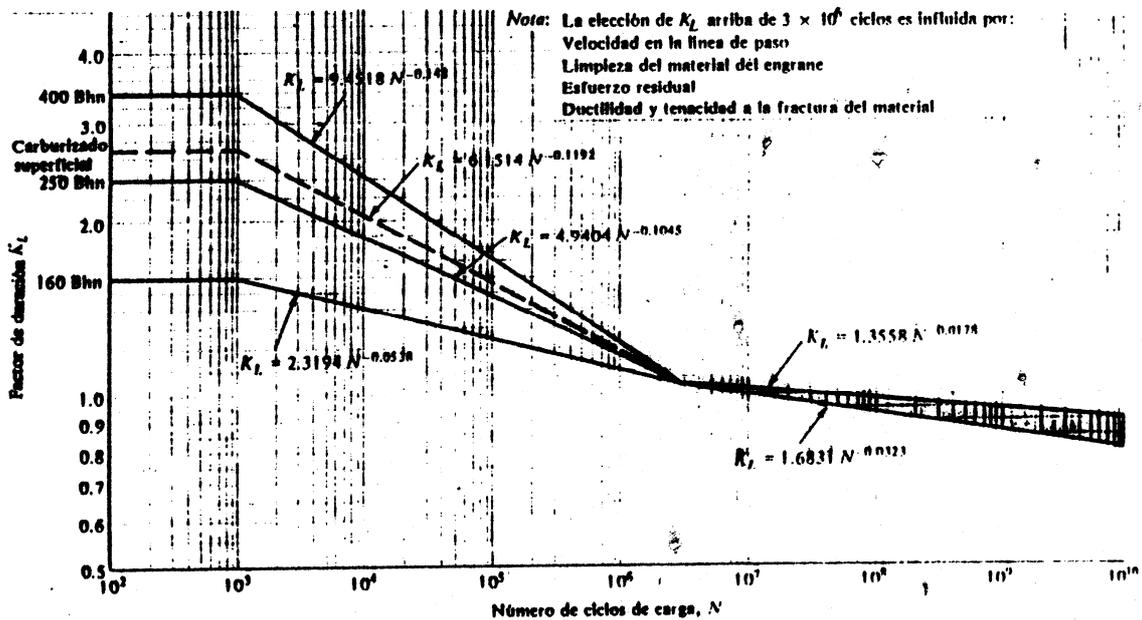


Figura 17. Factor de duración de resistencia a la flexión K_L .
 FUENTE: SHIGLEY, Joseph. Diseño en Ingeniería Mecánica.

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°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°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 ² (275 Mpa) | 30000 | 205 |
| | Al/Br 3 | ASTM B-148-52 Aleación 9C | Tratado térmicamente | Resistencia mínima a la tensión 90000 lb/in ² (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

$$8 M < F < 12 M$$

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

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

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

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

Cuadro 12. Resistencia a la flexión AGMA St.

| MATERIAL | CLASE AGMA | DESIGNACION COMERCIAL | TRATAMIENTO TERMICO | DUREZA MINIMA EN LA SUPERFICIE | NUCLEO | St | |
|-----------------------|---|--|------------------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------|------|
| | | | | | | Psi | Mpa |
| Acero | 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 | | |
| Hierro fundido | 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 | | | | |
| Hierro | A-7-a | 60-40-18 | Recocido, | 140 BHN | - | 90- | |

| | | | | | | | |
|------------------------------------|----------|-----------|--|--|---|--|-----|
| nodular (dúctil) | 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 | - | | |
| Hierro maleable (perlítico) | 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 |
| Bronce | Bronce 2 | AGMA 2C | Fundido en molde de arena Fundido en molde de arena | Resistencia (última) mínima a la tensión 40000 lb/in ² (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

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

Número Prandtl Pr

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

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

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

4.6.2 Superficie de Transferencia de Calor.

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

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

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

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 (μm)

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

λ = Espesor específico de la película lubricante. (Figura 18)

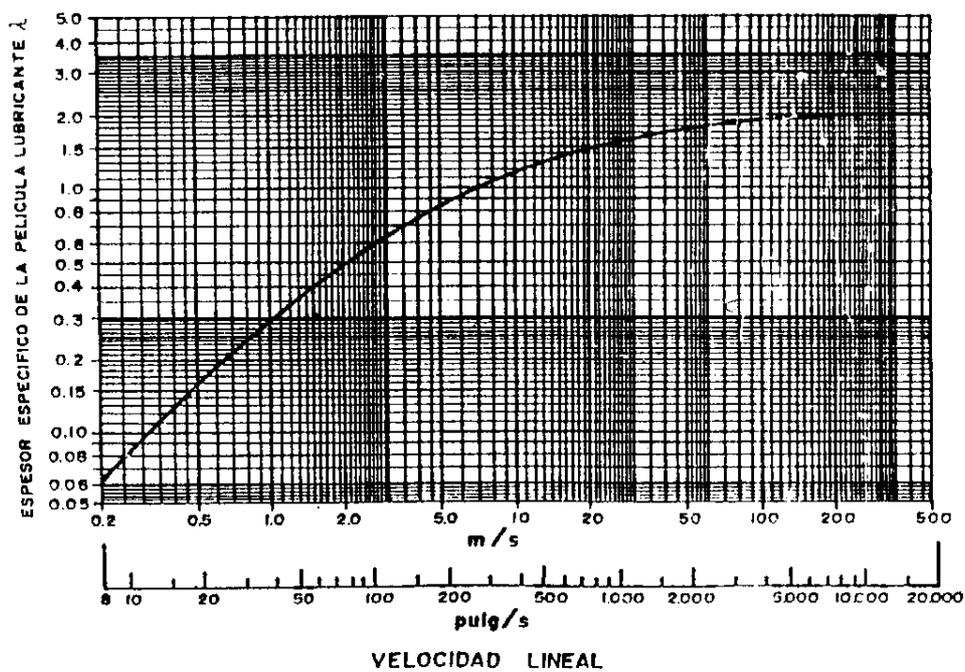


Figura 18. Cálculo del Espesor específico de la película Lubricante λ

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

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

σ_m = Promedio geométrico de las rugosidades (μm) (Figura 19).

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

Para dientes fresados:

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

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

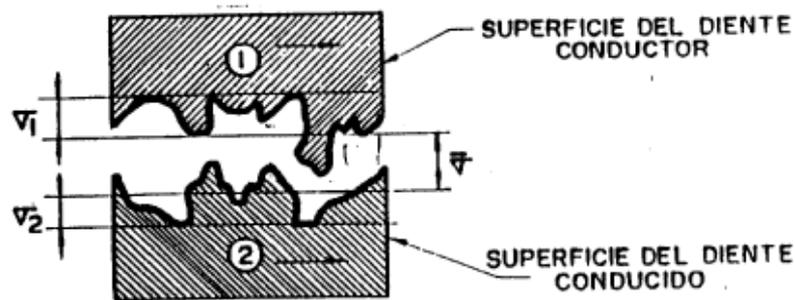


Figura 19. Diagrama de Rugosidades.

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 |
|-----------|------------|--|
| μm | μ 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 ¹¹ Nm ⁻² | x 10 ⁶ lb/plg ² | x 10 ¹¹ Nm ⁻² | x 10 ⁶ lb/plg ² |
| Aceros aleados y no aleados | 2.07 | 30 | 0.79 | 11.5 |
| Bronce fosforoso | 1.24 | 18 | 0.41 | 6.0 |
| Aleaciones de níquel | 1.79-2.07 | 26-30 | 0.79 | 11.5 |
| Aleaciones de cobre | 1.03-1.24 | 15-18 | 0.44 | 6.49 |
| Aleaciones de aluminio | 0.69-0.75 | 10-11 | 0.26 | 3.80 |
| Aleaciones de magnesio | 0.44 | 6.50 | 0.16 | 2.40 |
| Hierro fundido (depende de la cantidad de grafito) | 1.03-1.51 | 15-22 | 0.41 | 6.0 |
| Hierro maleable (depende de la cantidad de grafito) | 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 ΔT 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).

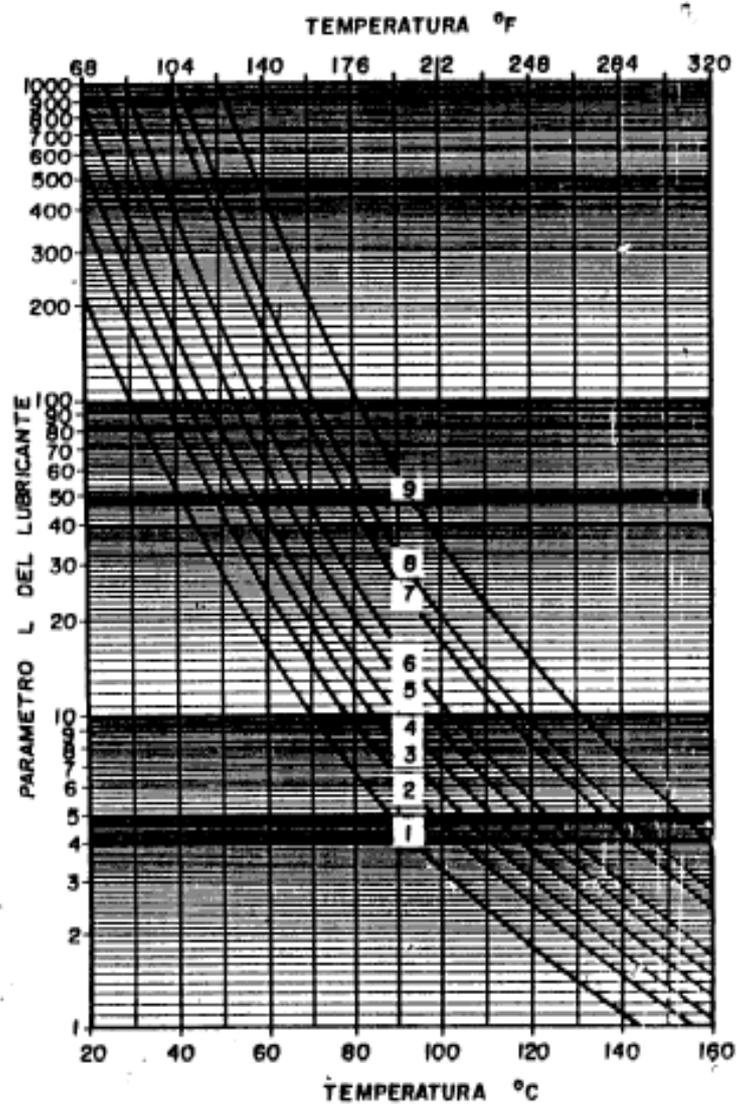


Figura 20. Viscosidad de Aceites minerales en el sistema AGMA.
FUENTE: ALBARRACIN AGUILON, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial

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

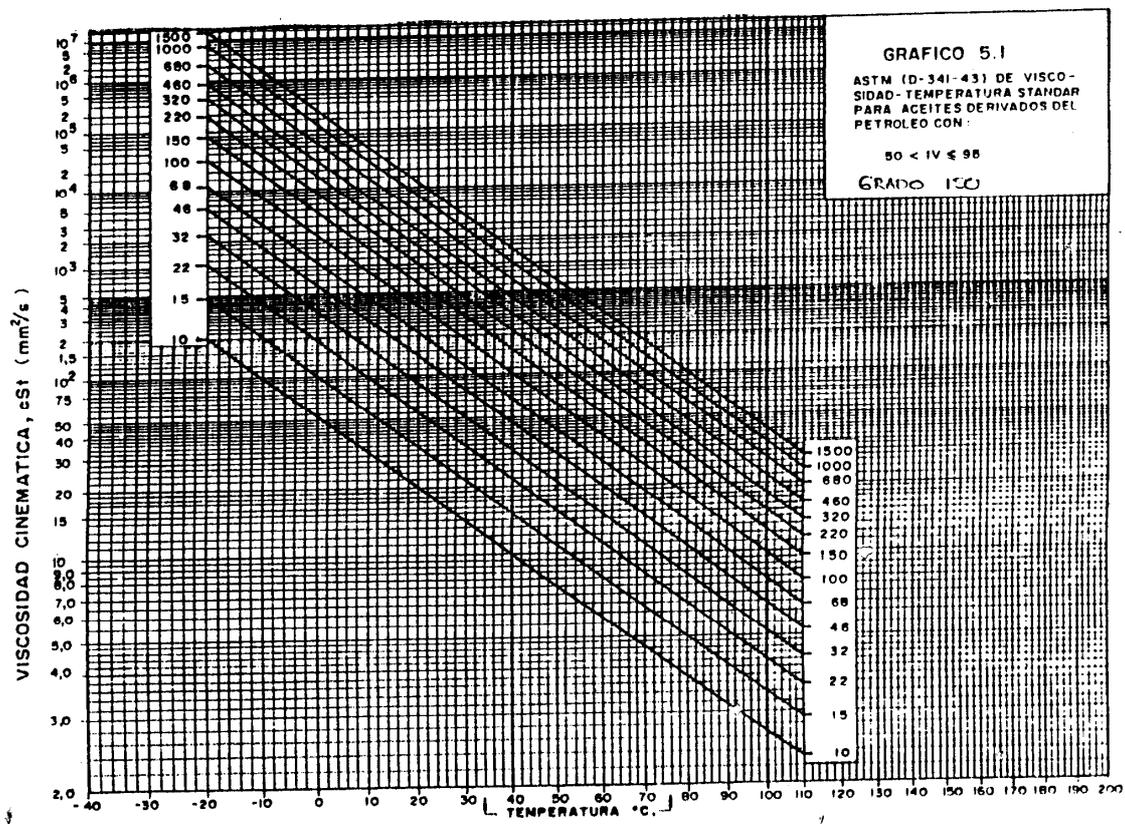


Figura 21. Nomograma de viscosidades en el sistema ISO.
 FUENTE: ALBARRACIN AGUILON, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial

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

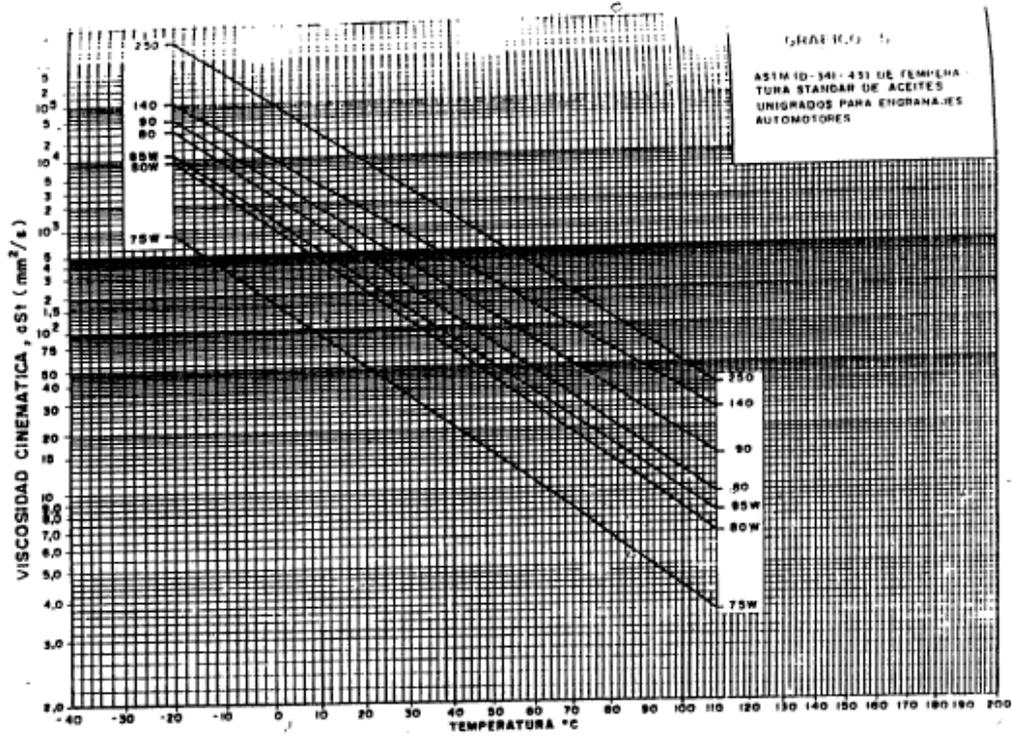


Figura 22. Nomograma de viscosidades de aceites unígrados para engranajes automotores.

FUENTE: ALBARRACIN AGUILON, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial

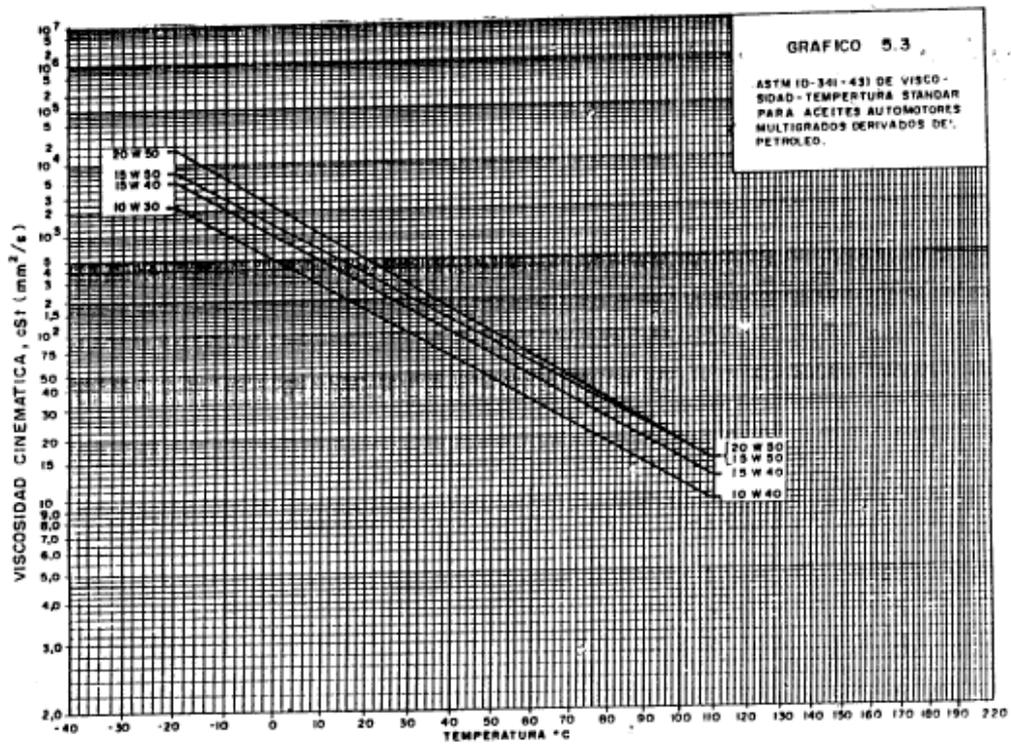


Figura 23. Nomograma de viscosidades de aceites automotores multigrados derivados del petróleo.

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.

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

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 |
| Voltaje | 220/440 V a 60 Hertz | X | X | X | X |
| | 440 V a 60 Hertz | X | X | X | X |
| Clasificación | NEMA Diseño B | X | X | X | X |
| Trabajo | Contínuo | X | X | X | X |
| Elev. De Temp. | Clase F | X | X | X | X |
| Aislamiento | Clase H | X | X | X | X |
| Alambres | 200 ° C, resistencia a la humedad | X | X | X | X |
| Barniz | Polyester fenólico clase H | X | X | X | X |
| Aislamiento | Papel parafinado | X | X | X | X |
| Protector | 155 ° C, Clase F, Bimetálico | X | X | X | X |
| Tierra | Unifilar, forrado en polietileno | X | X | X | X |
| Laminados | 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 |
| Carcasa | Acero laminado | X | | | |
| | Hierro fundido | | X | X | X |
| Placa de fondo | Aluminio con chumacera | X | | | |
| | Hierro fundido | | X | X | X |
| Chavetero | Facilidad y flexibilidad de montaje | X | X | X | X |
| Montaje | Base rígida, doble agujero | X | X | X | X |
| Cubierta | TENV, no requiere ventilador | X | X | | |
| | TEBC, para transmisión continua | | X | X | X |
| Ventilador | 110 V, 1 fase | X | X | | |
| | 220/440 V, 3 fases | | | X | X |
| Soportes | Rodamientos asegurados | X | X | X | X |
| Drenaje | Previene humedad de cond. | X | X | | |
| Ejes | Acero al carbono 1035 | X | X | | |
| | Acero al carbono 1137 | | | X | X |
| Rotor | Anillos de aluminio prensado | X | X | X | X |
| Placa | Incluye voltaje, frecuencia | | | | |
| | Diagrama de conexión | X | X | X | X |
| | Características del ventilador | | | | |
| | Velocidad máxima | | | | |
| Cáncamo | Roscado o soldado | | X | X | X |
| Rodamientos | Primera calidad, simples | X | X | | |

| | | | | | |
|-------------------|------------------------------------|---|---|---|---|
| | Primera calidad, mat. antifricción | | | x | x |
| Lubricante | 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 A 60 Hz | No. NEMA | VENT. | 440 VOLT AMPS | | TORQUE – ENTRADA lb – ft | | | MAX RPM | % EFIC. LINEA | WK ² LB-FT ² | PESO LBS | ROD. ODE |
|-----|-------------------|-------------|-------|------------------|------|-----------------------------|-------|-------|------------|---------------------|---------------------------------------|-------------|-------------|
| | | | | 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

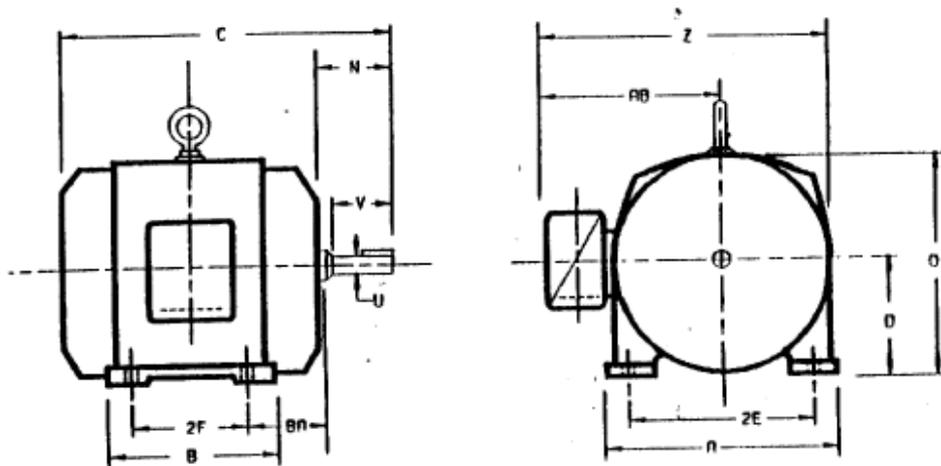


Figura 24. Dimensiones típicas de Generadores 180T – 449T.

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° . En un circuito puramente capacitivo, el voltaje se atraza respecto a la corriente por 90° , 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.

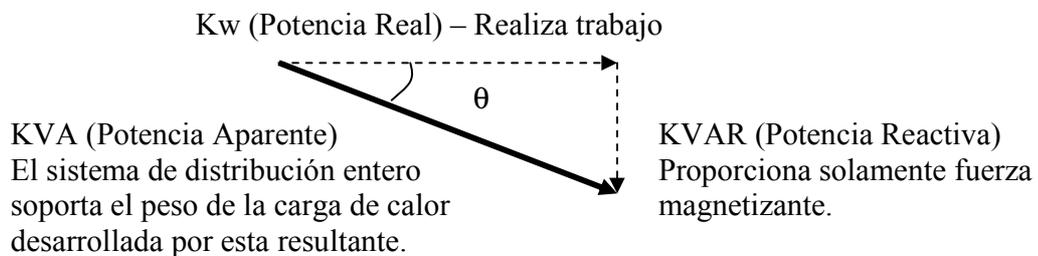


Figura 25. Relaciones del factor de Potencia.

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
 ω = $2\pi f$ [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, Hm^{-1}
 μ_r = Permeabilidad relativa, adimensional
 μ_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

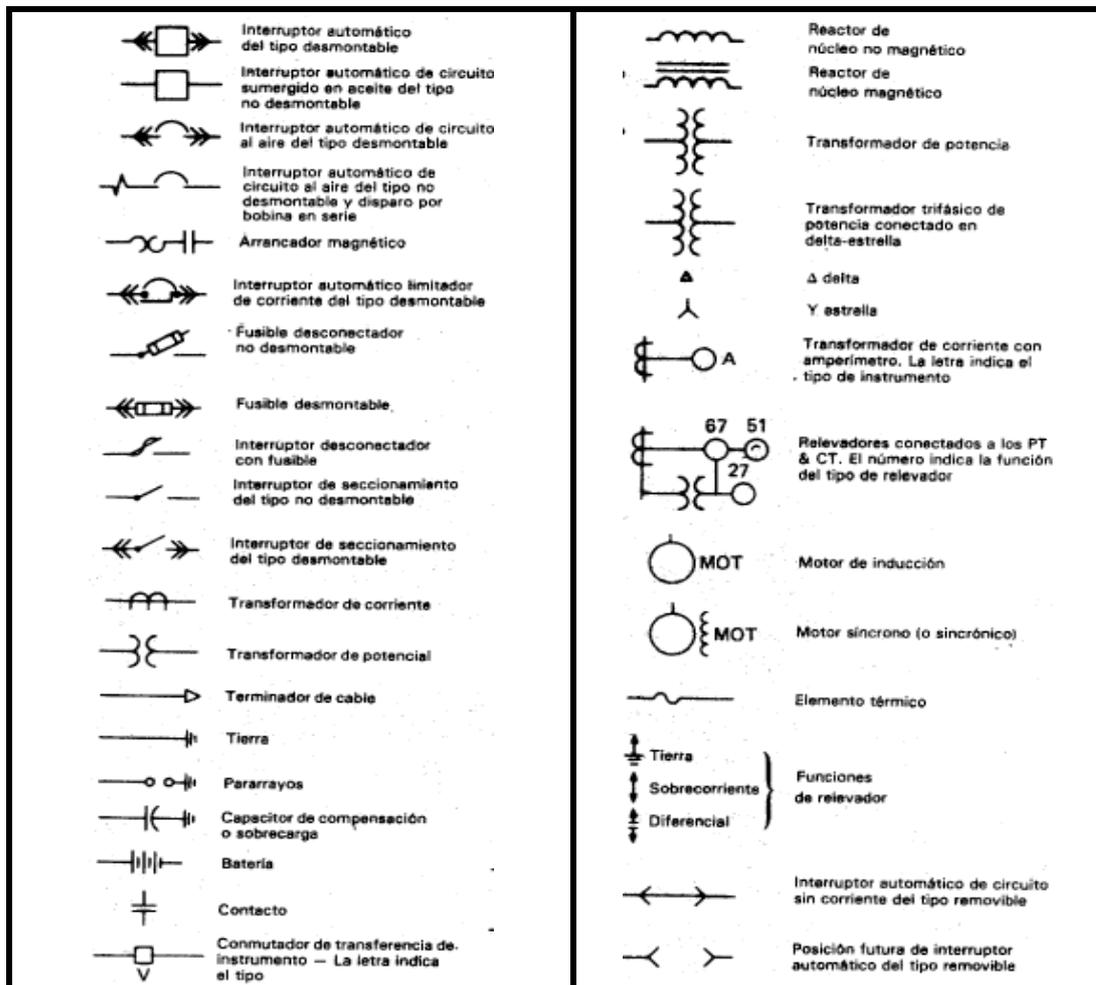
Los contactores auxiliares se conectan y desconectan por control remoto aplicando o nó tensión a las bobinas del electroimán, mediante aparatos instalados por separado, tales

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



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.

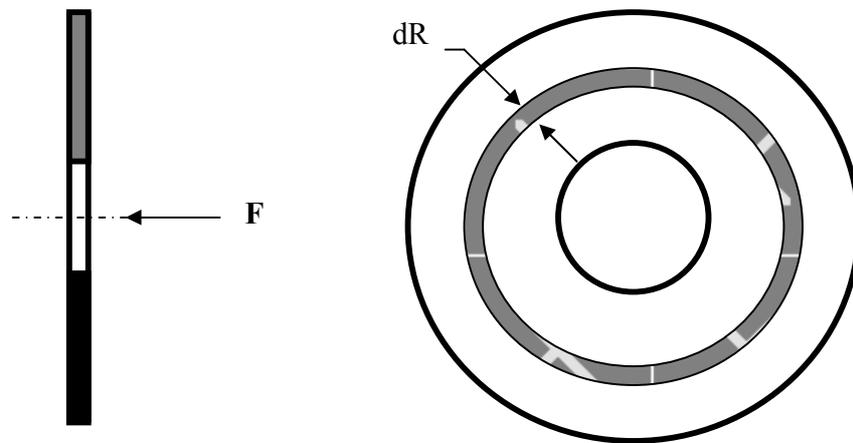


Figura 26. Elemento considerado en un disco de fricción.

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 ω_1 y ω_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 θ 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 θ_1 y θ_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 θ_1 y θ_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 ΔT = 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.

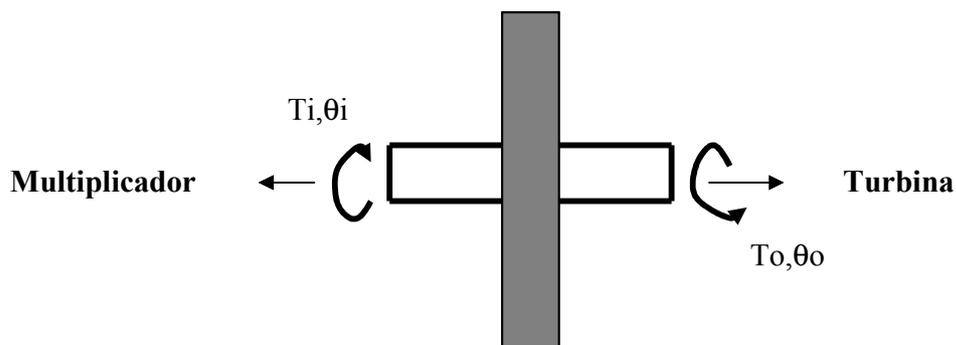


Figura 27. Diagrama de Cuerpo Libre – Volante.

En la figura 27, un momento de rotación entrante o aplicado T_o , que corresponde a una coordenada θ_o , originará un incremento en la velocidad del volante. Y un momento de torsión saliente o de carga T_i , correspondiente a la coordenada θ_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

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

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 θ_1 hasta θ_2 . Este es un momento rotacional positivo y se grafica hacia arriba. Una aceleración positiva θ será el resultado, y así la velocidad del eje aumenta de ω_1 a ω_2 . Como se indica, el eje gira ahora de θ_2 a θ_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 θ_3 a θ_4 , originando que el eje se desacelere de ω_3 a ω_4 . El momento de salida se grafica en dirección negativa.

El trabajo de entrada al volante es el área del rectángulo comprendido entre θ_1 y θ_2 .

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

El trabajo de salida del volante es el área del rectángulo comprendido entre θ_3 y θ_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 ω_4 será menor que ω_1 . Si $U_c = U_i$, ω_4 será igual a ω_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

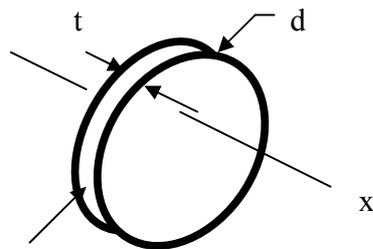
$$E2 - E1 = T2 - T1 = 346.3 - 313.1 = 33.24 \text{ N - m}$$

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

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

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

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



$$I_x = \frac{m d^2}{8}$$

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

$$I_x = \frac{\pi d^4 t \rho}{32}$$

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

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

I

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

donde d = diámetro del volante, m
 I = Momento de Inercia, $\text{Kg} \cdot \text{m}^2$
 ρ = Densidad, 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 $\rho = 7860 \text{ Kg}/\text{m}^3$ | | | | Hierro Fundido $\rho = 7300 \text{ Kg}/\text{m}^3$ | | | | Aluminio $\rho = 2800 \text{ Kg}/\text{m}^3$ | | | |
|-----------------|--|-------|-----|------|---|------|------|-------|---|-----|-------|------|
| | 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:

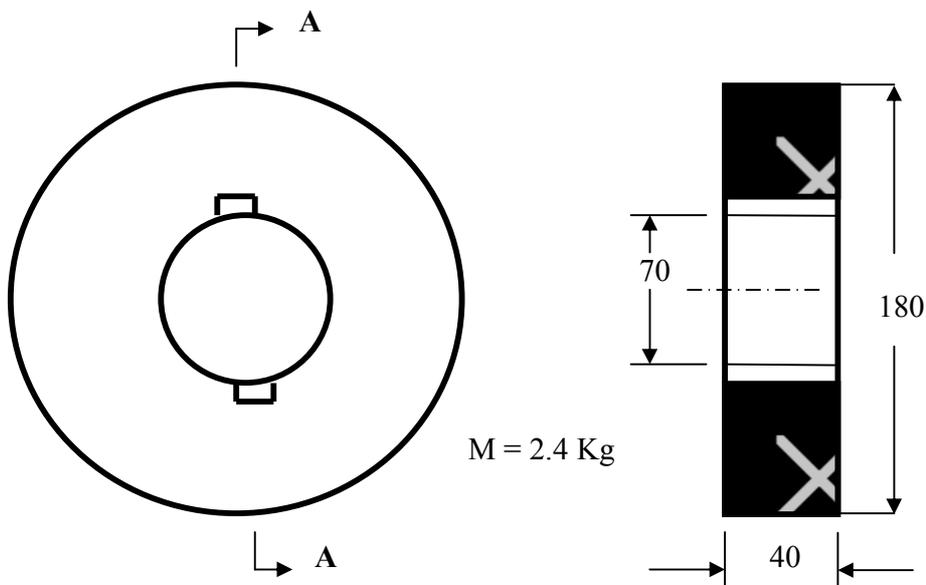


Figura 29. Dimensiones del Volante

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
- μ = Permeabilidad del medio, 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 μ_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, m^2

Reordenando la ecuación anterior en función del campo magnético tenemos:

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

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

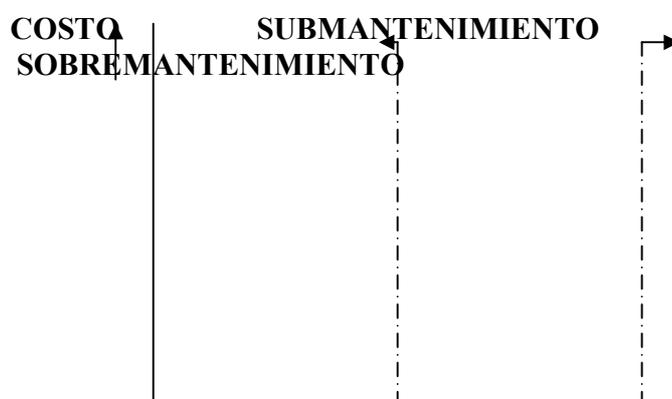
- Impuestos

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.



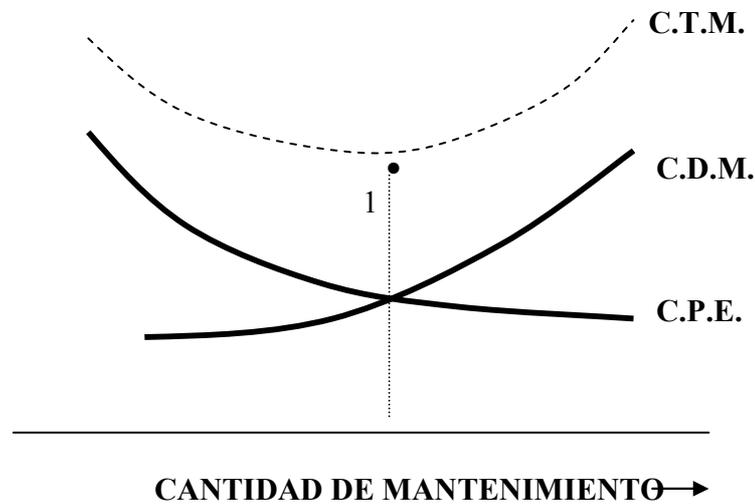


Figura 30. Niveles de Mantenimiento

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

| CODIGO DE ACTIVIDAD | FRECUENCIA | TIEMPO |
|----------------------------|-------------------|---------------|
| | | |
| | | |
| | | |

ELECTRICIDAD

| CODIGO DE ACTIVIDAD | FRECUENCIA | TIEMPO |
|----------------------------|-------------------|---------------|
| | | |
| | | |
| | | |

INSPECCION

| CODIGO DE ACTIVIDAD | FRECUENCIA | TIEMPO |
|----------------------------|-------------------|---------------|
| | | |
| | | |
| | | |

Ultima actualización: _____

Vo. Bo. Jefe de Mantenimiento

7.2.2 Orden de Mantenimiento

| DIA | MES | AÑO |
|------------|------------|------------|
| | | |

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 |
|--------------------------------|--------------|----------|
| | | |
| | | |
| | | |
| VALOR TOTAL SUMINISTROS | | |

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 ² / gl | 45 m ² / gl | 13-15 m ² / 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 |
|------|---|------|-----|-----------------|----------------|
| | TURBINA | | | | |
| 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 |
| | | | | Subtotal | 3035800 |
| 10 | ACOPLE RENOLD URATYRE TIPO HB88-08 | 1 | UND | Subtotal | 90000 |

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

| ITEM | DESCRIPCIÓN | CANT | UND | VALOR UNIDAD | VALOR ITEM |
|-------------|---|-------------|------------|---------------------|-------------------|
| 13 | Barra Redonda en Hierro Gris ASTM 20 $\phi = 70$ mm L = 300 mm | 1 | UND | 85000 | 85000 |
| 14 | Maquinado Eje de Entrada | 1 | UND | 45000 | 45000 |
| 15 | Barra Redonda en Hierro Gris ASTM 20 $\phi = 50$ mm L = 250 mm | 1 | UND | 41000 | 41000 |
| 16 | Maquinado Eje de Salida | 1 | UND | 30000 | 30000 |
| 17 | Pernos Entrada Multiplicador M24 x 3 x 150 mm (6") - Propiedad 4.6 | 3 | UND | 7400 | 22200 |
| 18 | Pernos Tapa Multiplicador M10 x 1.5 x 35 mm (1 3/8") – Propiedad 4.6 | 30 | UND | 600 | 18000 |
| 19 | Soldadura Carcasa del Multiplicador | 2 | m. | 7000 | 14000 |
| 20 | Rodamiento Rígido de Bolas SKF 6209-2RS con placas de obturación | 8 | UND | 33000 | 264000 |
| 21 | Rodamiento Rígido de bolas SKF 6014-2RS con placas de obturación | 1 | UND | 85000 | 85000 |
| 22 | Rodamientos de Rodillos cilíndricos SKF NU214 | 1 | UND | 175000 | 175000 |
| 23 | Hidráulico Industrial ISO 68 | 1 | Gl | 12000 | 12000 |
| 24 | 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 |
| | | | | Subtotal | 1858400 |
| | EMBRAGUE ELECTROMECHANICO | | | | |
| 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 |
| | | | | Subtotal | 956440 |
| 45 | ACOPLE RENOLD URATYRE TIPO HB 88 – 14 | 1 | UND | Subtotal | 120.000 |

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

| RPM – 60 HZ | | | | | |
|--|--|---|-----|---------|---------|
| SISTEMA DE DISTRIBUCION Y CONTROL | | | | | |
| 47 | Interruptor de Protección Marca SIEMENS Tipo 3VQ56T-100 Regulación Térmica 100 A/ Fase | 1 | UND | 312.500 | 312.500 |
| 48 | Contactador Principal Tripolar Marca SIEMENS Tipo 3TF4622-OAN1 Tamaño NEMA 3 90 A / 440 V | 1 | UND | 436500 | 436500 |
| 49 | Transformador Trifásico 440 / 110 V AC 6.25 KVA Conexión Delta-Estrella | 1 | UND | 1785000 | 1785000 |
| 50 | 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 |
| 51 | Conmutador para Voltímetro Marca SIEMENS Tipo 3LF1100-6RF21 10 A Secuencia L1L2, L2L3, L3L1, L1N | 1 | UND | 87000 | 87000 |
| 52 | Conmutador para Amperímetro Marca SIEMENS Tipo 3LF1100-8RQ21 10 A Secuencia O-L1-L2-L3 | 1 | UND | 93000 | 93000 |
| 53 | Voltímetro Marca SIEMENS Tipo A96 Clase 1.5 0-600 V 5 VA | 1 | UND | 113500 | 113500 |
| 54 | Amperímetro Marca SIEMENS Tipo A96 Clase 1.5 0-15 A 1VA | 1 | UND | 114000 | 114000 |
| 55 | 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 ϕ = 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 |
| | | | | Subtotal | 4566750 |
| ITEM | DESCRIPCIÓN | CANT | UND | VALOR UNIDAD | VALOR ITEM |
| | BULBO | | | | |
| 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 |
| | | | | Subtotal | 1722600 |

| ITEM | DESCRIPCIÓN | CANT | UND | VALOR UNIDAD | VALOR ITEM |
|-------------------------|---|------|-----|--------------|------------|
| TOBERA Y DIFUSOR | | | | | |
| 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 |
| | | | | Subtotal | 3793100 |
| ESTRUCTURA DE SOPORTE | | | | | |
| 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 |
| | | | | Subtotal | 3470300 |
| | TOTAL MATERIALES Y FABRICACION | | | | 25458390 |

8.2 PRESUPUESTO DE MONTAJE

| ITEM | DESCRIPCIÓN | CANT | UND | VALOR UNIDAD | VALOR ITEM |
|------|-------------------------------|------|-----|--------------|------------|
| | LOGISTICA | | | | |
| 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 |

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

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

| 22 | Multímetro Digital | 1 | UND | 850000 | 850000 |
|---------------------------------------|---|------|-----|-----------------|----------------|
| 23 | Cepillo | 1 | UND | 5000 | 5000 |
| 24 | Rasqueta | 1 | UND | 6000 | 6000 |
| | | | | Subtotal | 1342000 |
| ELEMENTOS DE PROTECCION | | | | | |
| 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 |
| | | | | Subtotal | 511200 |
| ITEM | DESCRIPCIÓN | CANT | UND | VALOR UNIDAD | VALOR ITEM |
| APAREJOS DE LEVANTE Y MANIOBRA | | | | | |
| 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 |
| | | | | Subtotal | 936600 |

| | | | | | |
|--|-----------------------------------|--|--|--|-----------------|
| | TOTAL MONTAJE | | | | 8565800 |
| | TOTAL MATERIALES Y MONTAJE | | | | 34024190 |
| | IMPREVISTOS | | | | 3402419 |

| | |
|------------------------|-------------------|
| TOTAL INVERSION | 37.430.209 |
|------------------------|-------------------|

8.3 PRESUPUESTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

| ITEM | DESCRIPCIÓN | CANT | UND | VALOR UNIDAD | VALOR ITEM |
|-------------|----------------------------|-------------|------------|---------------------|-------------------|
| | COSTOS DE OPERACIÓN | | | | |
| 1 | Administrador | 1 | - | 300000 | 300000 |
| 2 | Técnico Electromecánico | 1 | - | 400000 | 400000 |
| 3 | 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 |
| | | | | Subtotal | 1475000 |
| COSTOS DE MANTENIMIENTO | | | | | |
| 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 |
| | | | | Subtotal | 803000 |
| TOTAL OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | | | | | 2.278.000 |
| | | | | | |

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 moverse 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, Magangué, 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 RESIDENTIALES - NIVELES DE MAREAS Y TIEMPO
DE LAS MAREAS EN LOS DISTritos**

| Ejemplo | MAREAS | | MAREAS | |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| | TIEMPO | |
| En mareas de marea alta marea baja | 12:00 18:00 | |
| En mareas de marea alta marea baja | 12:00 18:00 | |
| En mareas de marea alta marea baja | 12:00 18:00 | |

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

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.

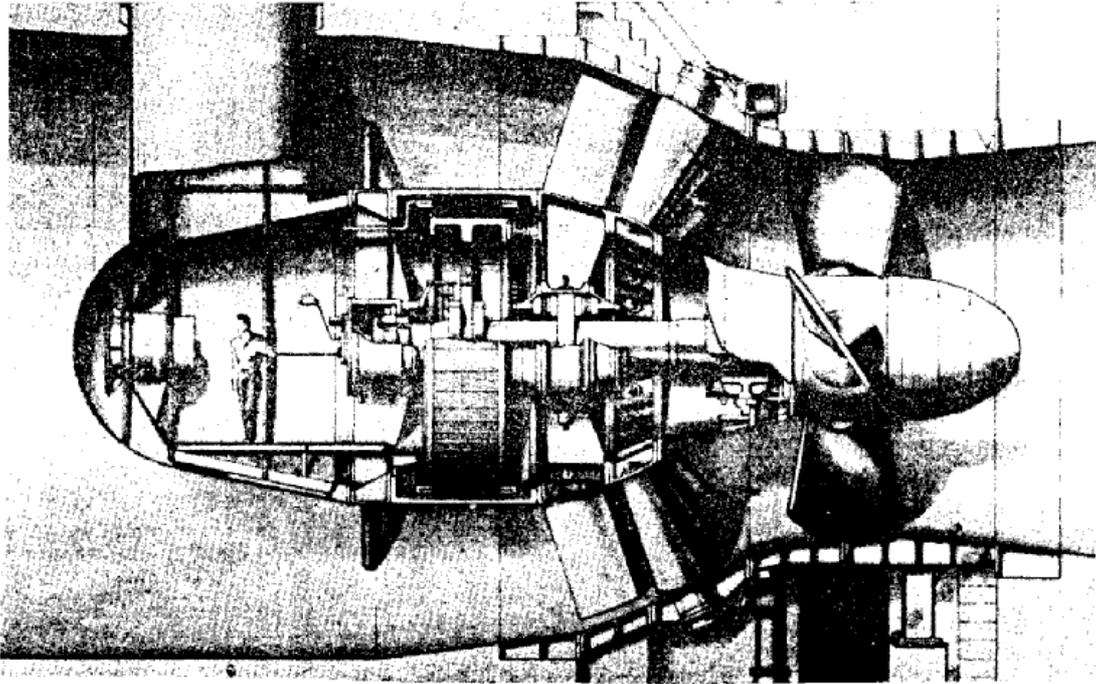
STREETER, Víctor. **Mecánica de Fluidos**. 8 ed. México. Mc Graw Hill. 1988. 335 p.

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.

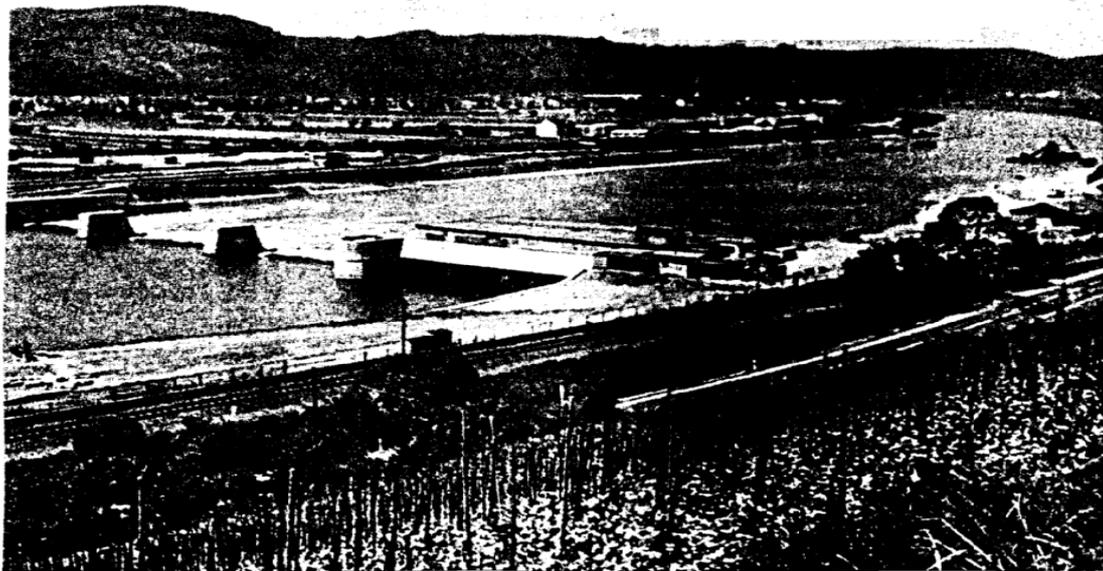
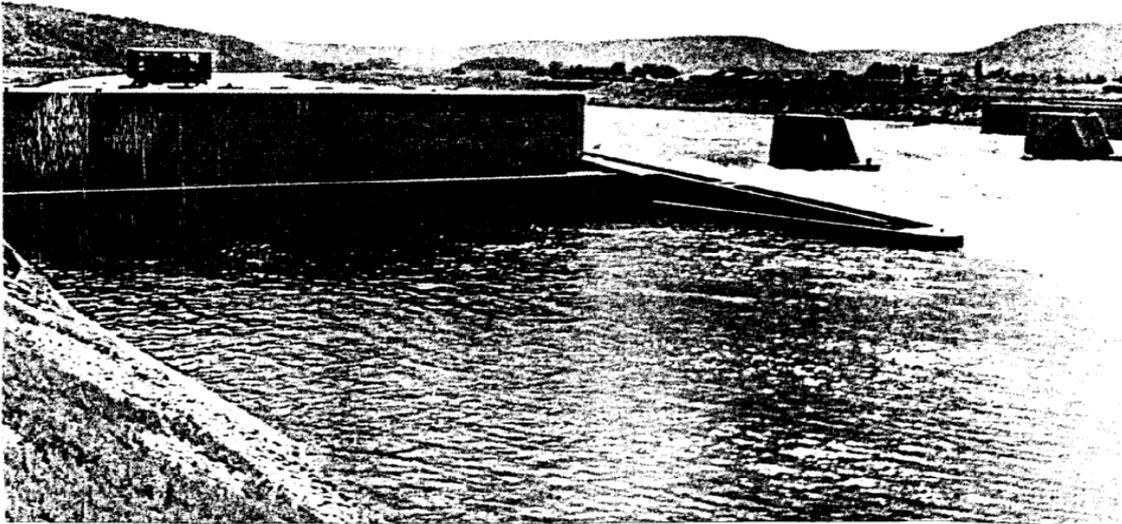
VIEJO ZUBICARAY, Manuel. PALACIOS, Pedro Alonso. **Energia Hidroeléctrica – Turbinas y Plantas Generadoras**. 1 ed. México. Limusa. 1977. 380 p.

ANEXO B. Turbina Bulbo.



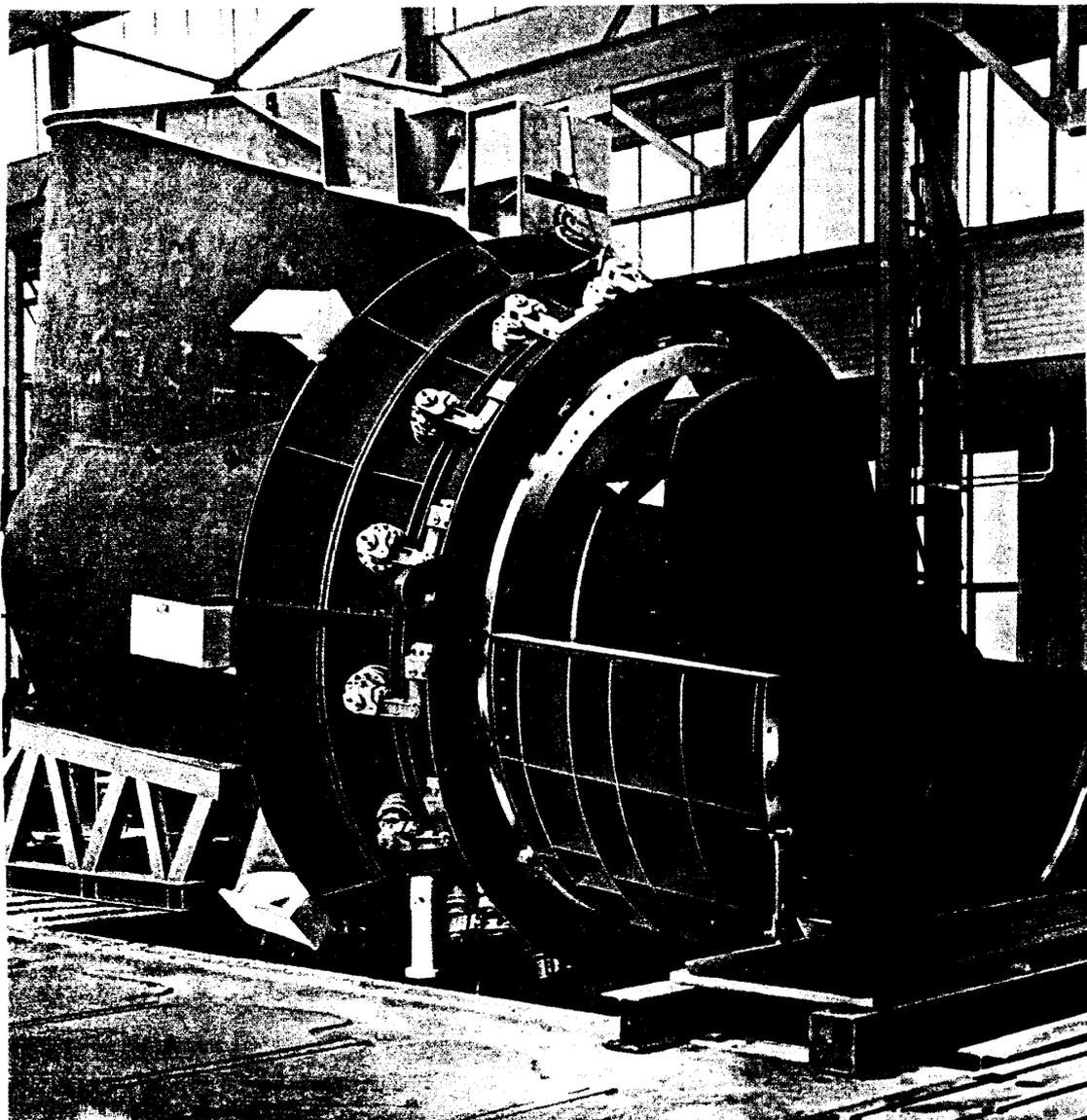
FUENTE: VIEJO ZUBICARAY, Manuel. Energía Hidroeléctrica

ANEXO C. Planta Hidroeléctrica de TRIER (Alemania)



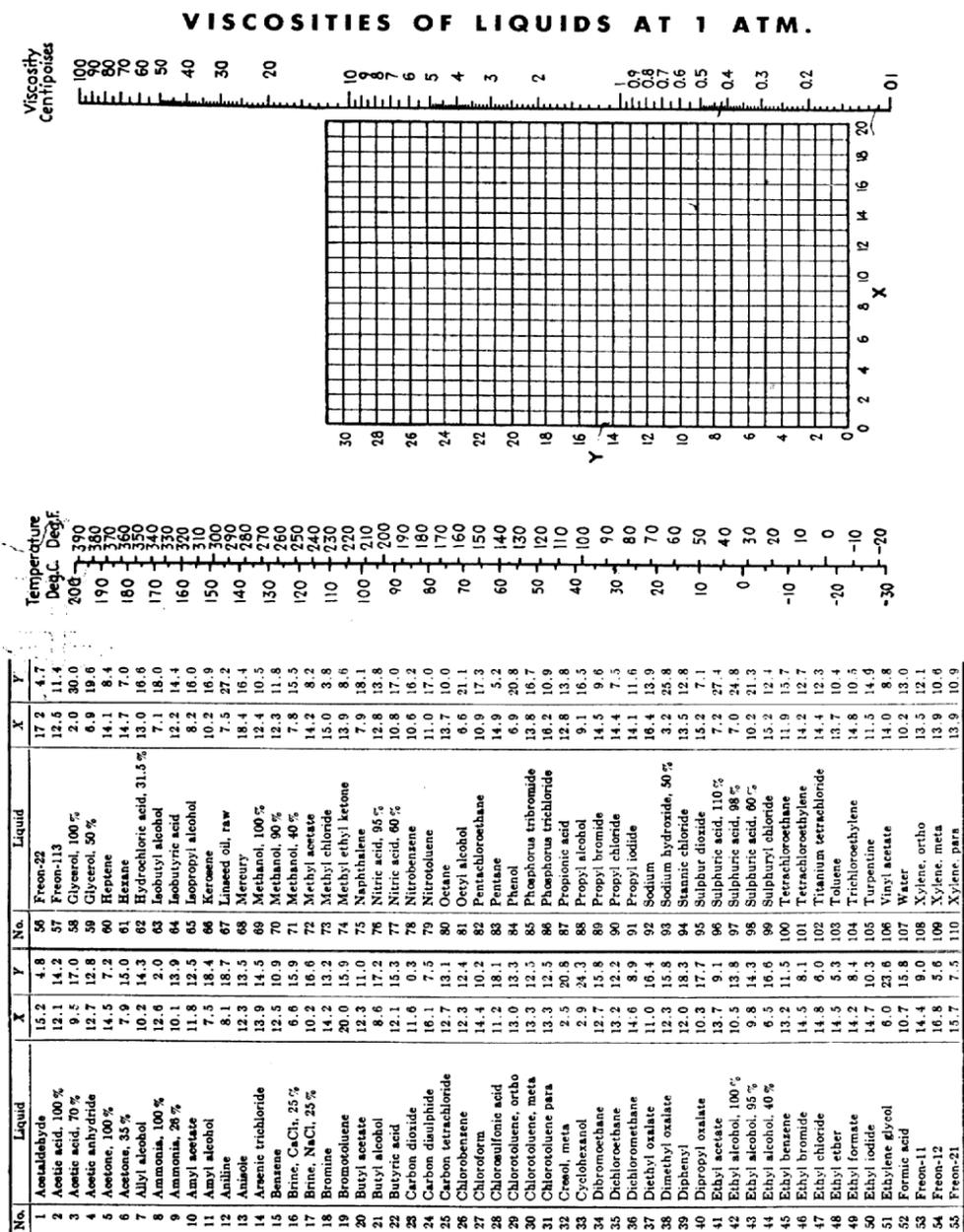
FUENTE: VIEJO ZUBICARAY, Manuel. Energía Hidroeléctrica

ANEXO D. Turbina Tubular de la Planta TRIER



FUENTE: VIEJO ZUBICARAY, Manuel. Energía Hidroeléctrica

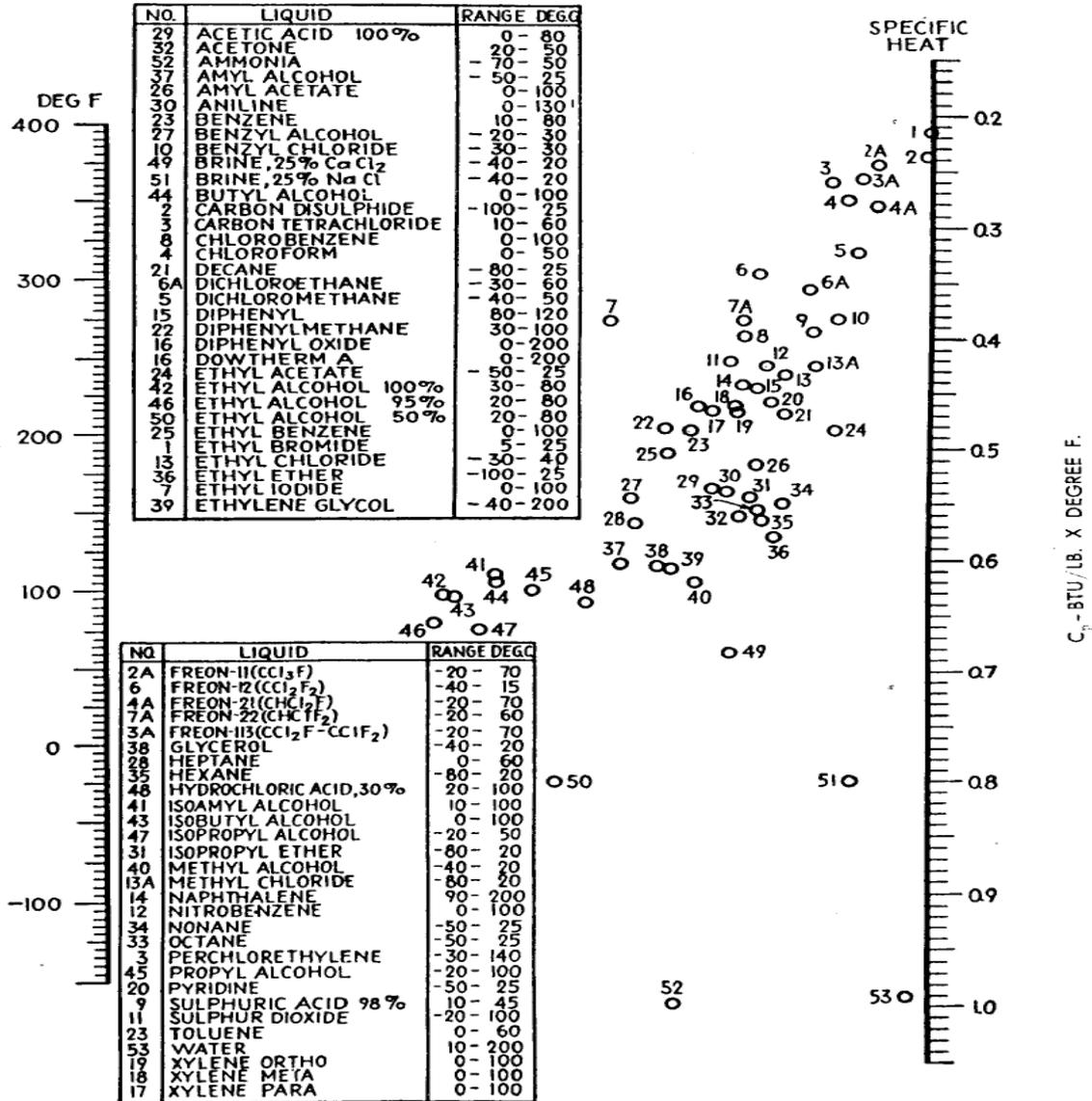
ANEXO E. Viscosidad de Líquidos



FUENTE: TEMA. Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association

ANEXO G. Calor Especifico de Líquidos

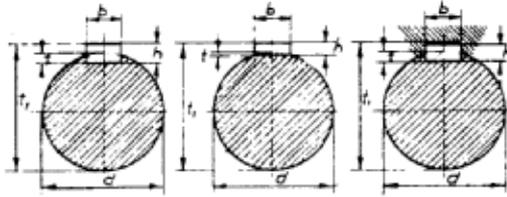
SPECIFIC HEATS OF LIQUIDS



FUENTE: TEMA. Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association

ANEXO H. Ranuras, Chavetas y Chaveteros

Ranuras, chavetas y chaveteros



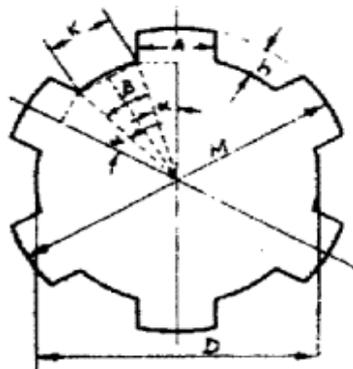
| Dio- metro del eje | CHAVETA ENCASTADA | | | | CHAVETA PLANA | | | | CHAVETA | | | | | | |
|--------------------------|-------------------|------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------|------|-------------------|--------------------------------------|---------|----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|---|----------------|
| | 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 | t ₁ | d | b | h | t | t ₁ | d | b | h | t | t ₁ |
| 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 β es conocido.

$$K = D \times \text{seno} \frac{\beta}{2}$$

AJUSTE FIJO

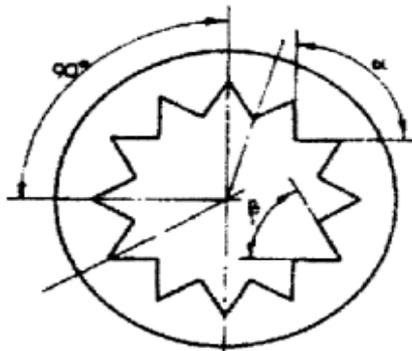
- A = 0.25 x M
- h = 0.05 x M
- D = 0.9 x M

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

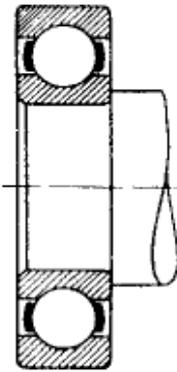
Calcular el ángulo β
siendo el ángulo del diente
 $\alpha = 90^\circ$ y n.º de dientes 60

$$\beta = 90 - \frac{360^\circ}{60} = 90 - 6 = 84^\circ$$

ANEXO L. Tolerancias adecuadas en aplicaciones de rodamientos radiales de bolas y de rodillos para ejes y alojamientos.

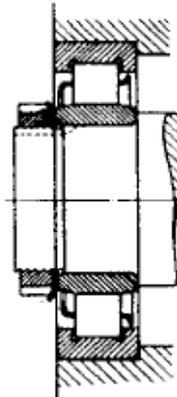
PARA EJES

| 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 dos miladas) | | | | 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 se gira el eje que gira. En los datos indicados para los ejes se subentiende 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

| MATERIALES PARA RESORTES | | | |
|--|--|---|---|
| CLASE DE MATERIAL Y USO DEL RESORTE | COMPOSICIÓN (%) | RESISTENCIA DEL MATERIAL EMPLEADO | |
| | | Tipo de resorte Kgs./mm ² | Límite de elasticidad Kgs./mm ² |
| 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

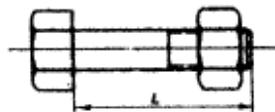
ANEXO N. Peso por metro y sección en mm² de barras redondas y cuadradas de acero

ACEROS
Peso en kilos por metro, y sección en mm² de las barras redondas y cuadradas

| Diámetro o lado D mm | Longitud de la circunferencia de diámetro D | Sección en mm ² | | Peso en Kgs. x metro | | Diámetro o lado D mm | Longitud de la circunferencia de diámetro D | Sección en mm ² | | 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 | | | | | | | | |
|---|----------|------|--|------|------|--|----------------|---------------------------------------|
| Borde | Ranura | | | | | | | Superficie de referencia |
| Angulo | Escuadra | En Y | En U | En U | En J | V abisurada | Seal abisurada | |
| | | | | | | | | Lado de la flecha |
| | | | | | | | | Lado contrario |
| | | | | | | | | Ambos lados |
| | | | | | | | | No se indica lado de flecha y reverso |
| Símbolos blancos de soldadura | | | | | | | | |
| Símbolos para ranura de ranura | | | Símbolos para ranura controlada | | | Símbolos para V abisurada y seal y ranura abisurada | | |
| <p>Profundidad de ranura en raíz (Cuando está disponible)</p> | | | <p>Dimensiones, abisurada y dimensiones excepto profundidad de ranura en raíz al punto</p> | | | <p>Abisura de raíz</p> <p>Se muestra tamaño sólo hasta puntos longitudes</p> | | |
| <p>Abisura de raíz</p> | | | <p>Abisura de raíz</p> | | | <p>Abisura de raíz</p> | | |
| Símbolos sobre punto de longitud | | | Símbolos para soldadura a la intemperie | | | Símbolos para ranura y perfil de longitud y fondo | | |
| <p>Abisura de raíz</p> | | | <p>Para abisuras entre ranuras de soldadura</p> | | | <p>Abisura de raíz</p> | | |
| <p>Profundidad de ranura en raíz</p> | | | <p>Para abisuras entre ranuras de soldadura</p> | | | <p>Abisura de raíz</p> | | |
| <p>Abisura de raíz</p> | | | <p>Para abisuras entre ranuras de soldadura</p> | | | <p>Abisura de raíz</p> | | |
| Símbolos para arco a presión y recubrido | | | Símbolos para flaco orientado sistemado | | | Símbolos para ranura V invertida y penetración en raíz | | |
| <p>No insertar lado de la flecha o a reverso</p> | | | <p>Para flacos orientados sistemados</p> | | | <p>Para ranura V invertida y penetración en raíz</p> | | |
| <p>No insertar lado de la flecha o a reverso</p> | | | <p>Para flacos orientados sistemados</p> | | | <p>Para ranura V invertida y penetración en raíz</p> | | |
| <p>No insertar lado de la flecha o a reverso</p> | | | <p>Para flacos orientados sistemados</p> | | | <p>Para ranura V invertida y penetración en raíz</p> | | |
| Símbolos para soldadura por puntos | | | Símbolos para ranura con doble base | | | | | |
| <p>Tamaño nominal 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> | | | | | |
| <p>Tamaño nominal de soldadura. Se puede usar resistencia en la</p> | | | <p>La posición del tamaño indica profundidad total de penetración que a espesor de placa</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> | | | | | |
| Símbolos para soldadura de costura | | | Símbolos para soldadura por proyección | | | | | |
| <p>Longitud de soldadura y accesorios</p> | | | <p>Soldadura por proyección</p> | | | | | |
| <p>Tamaño nominal de soldadura. Se puede usar resistencia en la</p> | | | <p>Soldadura por proyección</p> | | | | | |
| <p>Usar la referencia al proceso demandado</p> | | | <p>Soldadura por proyección</p> | | | | | |
| <p>Tamaño nominal de soldadura. Se puede usar resistencia en la</p> | | | <p>Soldadura por proyección</p> | | | | | |
| <p>Usar la referencia al proceso demandado</p> | | | <p>Soldadura por proyección</p> | | | | | |
| Símbolos para soldadura laminada | | | Símbolos para soldadura de doble filo | | | | | |
| <p>Longitud de soldadura y accesorios</p> | | | <p>Longitud. Dirección indica que la soldadura se aplica a ambos lados</p> | | | | | |
| <p>Tamaño nominal de soldadura. Se puede usar resistencia en la</p> | | | <p>Longitud. Dirección indica que la soldadura se aplica a ambos lados</p> | | | | | |
| <p>Usar la referencia al proceso demandado</p> | | | <p>Longitud. Dirección indica que la soldadura se aplica a ambos lados</p> | | | | | |
| <p>Tamaño nominal de soldadura. Se puede usar resistencia en la</p> | | | <p>Longitud. Dirección indica que la soldadura se aplica a ambos lados</p> | | | | | |
| <p>Usar la referencia al proceso demandado</p> | | | <p>Longitud. Dirección indica que la soldadura se aplica a ambos lados</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 ² (MPa) | Resistencia mínima a la cedencia, lb/in ² (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 inoxidables

| Análisis químico del acero inoxidable, % | | | | | | | |
|--|-------------|-----------|---------|-----------|-----------|--------------------------|-------------------------|
| No. AISI | Carbono | Manganeso | Silicio | Cromo | Níquel | Otros elementos | No. de electrodo Hobart |
| Austenítico | | | | | | | |
| 201 | 0.15 máx. | 5.5-7.5 | 1.0 | 16.0-18.0 | 3.5-5.5 | N ₂ 0.25 máx. | 308 |
| 202 | 0.15 máx. | 7.5-10. | 1.0 | 17.0-19.0 | 4.0-6.0 | N ₂ 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 |
| Martenítico | | | | | | | |
| 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. | --- |
| Ferrítico | | | | | | | |
| 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 ² | 23-25 Kg/mm ² | 20 23 |
| Tanques de almacenamiento. | A-283 Gr. C | 35-42 Kg/mm ² | 19 Kg/mm ² | 22 25 |
| Construcción naval en general. | A-131 Gr. A | 37-46 Kg/mm ² | 23 Kg/mm ² | 21 25 |
| Recipientes a presión de baja a intermedia resistencia a la tracción. | A-285 Gr. C | 35-48 Kg/mm ² | 19 Kg/mm ² | 23 27 |
| Recipientes a presión para servicios a temperaturas intermedias y altas. | A-515 Gr. 70 | 45-58 Kg/mm ² | 23-27 Kg/mm ² | 17 21 |
| Resistencia a la abrasión. | A-514 Gr. A | 71-87 Kg/mm ² | 64 Kg/mm ² | 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. ² | Depth <i>d</i> . In. | Flange | | Web Thickness <i>T_w</i> In. |
|---|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|
| | | | Width <i>b_f</i> . In. | Thickness <i>T_f</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