

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD TECNICA
CARRERA: ELECTROMECAÁNICA**



PROYECTO DE GRADO

**“DISEÑO DE REGULADOR DE CAUDAL PARA USO EN
TURBINAS HIDROELECTRICAS MITCHEL BANKY”**

**Nivel: Licenciatura
Postulante: Jaime Nina Condori
Docente tutor: Ing. Eduardo Mamani**

**La Paz – Bolivia
2012**

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a Dios, a mis padres y a mi hija por estar siempre conmigo, porque en los momentos más difíciles siempre me brindaron su apoyo.

A todos mis docentes de la carrera que con tanto esmero y sacrificio nos transmiten sus conocimientos con un solo propósito, el de forjar cada día mejores profesionales.

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo a mis padres,
a mis hermanos y en especial a mi
querida hija.

Ellos son las personas que me
alegran la vida.

INDICE

CAPITULO I

INTRODUCCION	9
1.1 ANTECEDENTES	10
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12

CAPITULO II

OBJETIVOS Y

JUSTIFICACION	15
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	15
2.3 JUSTIFICACION	16

CAPITULO III

EL CONTROL DE LA FRECUENCIA	18
3.1 DEFINICION DE FRECUENCIA	19
3.1.1 Amplitud de onda.....	20
3.1.2 Periodo de la corriente alterna.....	20
3.1.3 Longitud de onda.....	21
3.2 CONSIDERACIONES DE LA FRECUENCIA	22
3.3 ANALISIS DE LA VARIACION DE FRECUENCIA.....	22

3.3.1 Aspectos técnicos.....	23
3.4 REGULACION DE LA FRECUENCIA.....	24
3.4.1 Mecanismos de regulación.....	25
3.4.2 Regulación de la velocidad en la turbina	25
3.4.3 Turbina tradicional	27
3.5 LIMITES DE FRECUENCIA EN LAS TURBINAS	28
3.6 VOLTAJE Y FRECUENCIA EN EL GENERADOR	29
3.6.1 Efectos de la velocidad en el voltaje y la frecuencia de generación	29
3.6.2 Efecto de la variación de la velocidad.....	30
3.6.3 Efectos de la variación de la carga.....	31
3.6.4 Aspectos sobre la calidad del servicio de voltaje y frecuencia	32
3.6.5 Tolerancia a la variación de frecuencia de algunas cargas eléctrica.....	33
3.7 ANÁLISIS DE LA REGULACIÓN EN UN SISTEMA INTERCONECTADO.....	35

CAPITULO IV

MARCO TEORICO.....	37
4.1 LOS FLUIDOS	37
4.1.1 Propiedades fundamentales de los fluidos	37
4.1.2 Fuerzas sobre un fluido	37
4.1.3 Presión.....	38
4.1.4 El agua y sus propiedades físicas.....	38
4.1.5 Caudal	39
4.2 VALVULAS	39
4.2.1 Tipos de valvulas.....	39
4.2.2 Valvula compuerta	39
4.2.3 Presión de cierre y presión estática.	40
4.2.4 Golpe de ariete	40
4.2.5 Tuberías de presión	41
4.3 LA TURBINA MITCHELL - BANKY.....	42
4.3.1 Principio de funcionamiento	42
4.3.2 Velocidad de giro de la turbina hidráulica	43
4.3.3 Variaciones transitorias de la velocidad.....	44

4.3.4 Velocidad específica de una turbina.	45
4.4 EL EJE	45
4.5 EL SENSOR	46
4.5.1 Sensor inductivo de proximidad.....	46
4.5.2 Objeto estándar para sensores	47
4.5.3 Factores de corrección del objetivo para sensores inductivos de proximidad	47
4.5.4 Histéresis (recorrido diferencial).....	49
4.5.5 Frecuencia de conmutación.....	49
4.5.6 Fluctuación.....	50
4.5.7 Consideraciones de montaje.....	50
4.6 CONTADOR DE PULSOS PROGRAMABLES.....	51
4.6.1 Contadores complejos	53
4.6.2 Contadores universales.....	55
4.6.3 Contaje de pulsos diferentes del reloj	56
4.7 PUENTE H.	58
4.7.1 Funcionamiento.....	59
4.7.2 Circuitos integrados en puente h.....	60
4.8 LOS RELES.....	63
4.8.1 Características técnicas	64
4.8.2 Reles más utilizados.....	65
4.9 CONTROL DEL MOTOR DC.....	65
4.9.1 Control de la marcha y paro en un solo sentido	66
4.9.2 Control del sentido de giro.....	67
4.10 REDUCTOR DE VELOCIDAD	68
CAPITULO V	
INGENIERIA DEL PROYECTO.....	70
5.1 INTRODUCCION.....	70
5.2 ESPECIFICACIONES DE LA TURBINA MITCHEL BANKY.	73

5.3 EL EJE DE LA TURBINA Y SU VELOCIDAD DE ROTACION	74
5.3.1 Adaptaciones en el eje de la turbina.....	75
5.4 EL SENSOR	75
5.4.1 Adaptacion del sensor y su necesidad de eleccion.....	73
5.5 CONTADOR DIGITAL.....	77
5.6 PUENTE H	79
5.6.1 Diagrama esquemático.....	81
5.6.2 Inversion del sentido de giro en puente h.....	82
5.7 TRANSISTORES	84
5.8 LOS RELES.....	85
5.9 EL MOTORREDUCTOR.....	86
5.9.1 Cálculos para el motorreductor.....	86
5.9.2 Eleccion del tipo de motorreductor	88
5.10 Consideraciones para el cambio de sentido de giro	89
5.11 CONTROL DEL ALABE DE LA TURBINA.....	89
5.12 SISTEMA DE CONTROL DEL MOTOR.....	92
5.13 FUENTE DE ALIMENTACION PARA EL SISTEMA.....	94

CAPITULO VI

ANALISIS DE COSTO.....	97
6.1 COSTO DE MATERIALES Y COMPONENTES	97
6.2 COSTO O INVERSION TOTAL.....	100
6.2.1 Inversion fija	100
6.2.2 Inversion diferida	101

6.3 TIPO DE FINANCIAMIENTO.....	102
6.4 ANALISIS BENEFICIO Y COSTO	102
6.4.1 Situacion sin proyecto	102
6.4.2 Situacion con proyecto.....	104
6.5 CALCULO DE INGRESOS AL AÑO.....	106
6.6 DEPRECIACION DE LA MAQUINA	106
ANEXOS	108
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	139
BIBLIOGRAFIA	142

CAPITULO I

INTRODUCCION

El contenido de este trabajo, es el resultado de una investigación experimental y teórica, de donde se obtienen datos acerca del control de la frecuencia mediante la regulación de caudal en la turbina hidroeléctrica de flujo transversal. El diseño está concebido para trabajar con turbinas de impulso del tipo Mitchel Banky.

Durante el transcurso de su desarrollo, se expone un método empleado para evitar la variación de la frecuencia, mediante el control de la velocidad de rotación de la turbina, que como sabemos, tanto la velocidad como la frecuencia son directamente proporcionales. El resultado obtenido, es expuesto como una aplicación, que permita la adaptabilidad a cualquier microcentral que trabaje aislado de la red. Es así que su aplicación está orientada hacia el sector rural.

El sistema de gobernador, es decir el regulador de caudal, juega un papel muy importante dentro de las plantas de generación eléctrica, porque precisamente, este es el componente que se encarga de garantizar una salida de frecuencia en forma constante y adecuada para su consumo.

Su funcionamiento consiste en regular el caudal de líquido de ingreso a la turbina, llegando de esta manera a controlar y garantizar el giro rotacional del rodete de la turbina. Este movimiento rotacional se transmite a un generador, que finalmente es la encargada de generar energía eléctrica con una potencia y frecuencia apta y necesaria para su consumo.

Para poder tener una mayor visión de lo que se pretende mostrar, es necesario introducirnos un poco en lo que se refiere a las microcentrales hidroeléctricas.

Los sistemas de generación hidroeléctrica en microcentrales, se utilizan en lugares donde la instalación de redes del sistema energético, resulta muy costoso por lo difícil del acceso, y además cuando existe la posibilidad de aprovechar alguna fuente de abasto de agua.

La correcta y eficiente explotación de estas instalaciones hidroenergéticas, requiere de un control de calidad que mantenga la velocidad de rotación de la turbina constante y con ella la frecuencia, independientemente del régimen de carga a que sea sometido el generador.

Las “Microcentrales hidroeléctricas” (MH), se identifican como instalaciones hidroelectromecánicas destinadas a la producción de energía eléctrica en pequeña escala. Como ya lo dijimos antes, su aplicación está orientada hacia el sector rural, y a pequeñas poblaciones ubicadas en lugares alejados de los centros urbanos.

Los distintos rangos de potencia han establecido los límites entre Micro, Mini y pequeñas centrales¹, pudiendo decirse que el orden de magnitud es el siguiente:

Micro central hasta 50 Kw

Mini central de 50 a 500 Kw

Pequeña Central de 500 a 5.000 Kw

La importancia fundamental de esta división, radica en la posibilidad del desarrollo del proyecto con un equipo técnico reducido y con medios acordes a las posibilidades locales. Esto se debe a que los componentes de las obras en general son de baja complejidad y en algunos casos se permite incluso considerar en el diseño la posibilidad de falla controlada de algunos componentes. Se caracterizan por el empleo de criterios de diseño simple, utilización máxima de elementos locales y operación con poco personal. No necesita personal de alta calificación ni tampoco una atención permanente.

1.1 ANTECEDENTES

Estamos de acuerdo que nuestro país posee variadas regiones, donde predominan las diferentes situaciones geográficas, que llegan a ser como ejemplo: el inmenso altiplano, los valles, los yungas, los llanos, etc.

¹ ENERGIAS RENOVABLES Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales PARTE 3
APUNTE de MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS
Ing. Carlos E. Albornoz (Servicios Públicos Sociedad del Estado). (fuente internet).

De todas estas regiones, nos llama la atención con mayor preferencia los ríos que tienen alta pendiente y que se encuentran cercanas a las poblaciones rurales. Esto se presenta con mayor preponderancia en los valles y los yungas.

Aunque el desarrollo de una MH requiere costos de inversión inicial relativamente elevados, comparadas con las plantas térmicas de igual capacidad, se ha demostrado que a largo plazo las microplantas hidroeléctricas son económicas respecto al consumo, con una mayor vida útil, sin estar sujetas a los incrementos en los precios de combustibles y mantenimiento durante su operación.

En la mayoría de las poblaciones se emplea la electricidad sólo para usos domésticos y generales. El mayor consumo de electricidad se produce durante la noche y durante el día la energía generada no es aprovechada. Esta energía que no es aprovechada debe destinarse para fines productivos, así la energía demandada de la MCH será constante a lo largo de todo el día, mejorando el factor de carga y mejorando los ingresos económicos de la misma.

Los fines de uso productivo, en las comunidades son bastante diversos, que mencionamos como ejemplo:

- Iluminación y radiotelecomunicación.
- Pre beneficiadora eléctrica de café. (Colonia Centro Cafetal).
- Peladora y molienda de achiote (Comunidad Choronta).
- Peladora artesanal de café (Colonia Villa El Carmen).
- Accionamiento de maromas para cruzar ríos caudalosos.
- Cargadores de batería (para comunarios que viven lejos y para cargar baterías de vehículos).
- Planta procesadora de yuca, harina, almidón, chive, etc.
- Molienda de granos, trigo, cebada, maíz, avena, quinua, haba, arveja, soya, etc.
- Bombeo de agua para riego (pequeñas bombas sumergibles y centrifugas).
- Sustitución del trapiche de caña tradicional, para la elaboración de sopa de caña, miel de caña, chancaca, guarapo, etc.
- Incubación de polluelos de diversa aves.

- Deshidratado de frutas y verduras.
- Planta procesadora de leche (MCH de San Isidro de Uyunense).

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La energía es un servicio fundamental para el desarrollo humano, necesario para los servicios tan elementales como la cocción de alimentos e iluminación, así como para la provisión y/o mejora de otros servicios básicos como educación, salud, agua potable, comunicaciones, y para la creación de empleo y mejora de ingresos. Sin embargo a pesar de los grandes desarrollos alcanzados por la humanidad en cuanto a tecnología, a las exploraciones espaciales y las comunicaciones instantáneas entre continentes, aun existe una enorme proporción de la población mundial sin acceso a este servicio y, por lo tanto, aun sigue privado de servicios tan fundamentales. Dicha población se encuentra en su gran mayoría en los países en desarrollo, en zonas rurales aisladas, y alejadas de las prioridades de los gobiernos y sin oportunidades de participación o de influir en la política nacional y en la toma de decisiones.

De ahí que viene la necesidad de contar con microcentrales hidroeléctricas, que tienen, justamente la finalidad de satisfacer los requerimientos de las pequeñas poblaciones rurales, con todas sus ventajas y desventajas posibles.

En las microcentrales se presenta un problema muy común, que es el control de la variación de la frecuencia, en función de la carga a ser suministrada, y esta a su vez en función a la curva de carga.

En la actualidad, existen muchas microcentrales que no cuentan con sistemas de regulación de frecuencia. Sin embargo una alternativa muy frecuente como solución es el sistema de transferencia de carga, pero que sin embargo este método, presenta la gran desventaja de que la turbina debe trabajar siempre en su máximo rendimiento, es decir que debe entregar en todo momento su máxima potencia, lo que significa que el caudal del agua debe ser siempre elevado, y no sería posible garantizar un buen funcionamiento cuando haya escasez de agua, considerando que últimamente se están presentando fenómenos

naturales debido al cambio climático, que provocan épocas de sequía durante el año, donde las vertientes tienden a bajar sus niveles de caudal de manera considerable.

Cuando se produce una variación en la carga solicitada al grupo, es decir, según aumente o disminuya el par resistente que actúa sobre la turbina, esta tenderá respectivamente a reducir o aumentar el número de revoluciones con que estuviese en funcionamiento normal antes de producirse la variación de carga. En tales condiciones, el generador que recibe el movimiento rotacional de la turbina presentara variaciones de frecuencia debido a las variaciones de la velocidad. Esto se debe a que la frecuencia es directamente proporcional a la velocidad.

Las normas internacionales permiten una variación de frecuencia de ± 3 Hz, fuera de estos valores, dicha variación de frecuencia repercute seriamente en los equipos ya que pueden aumentar o disminuir la velocidad de los equipos y al igual que las variaciones de frecuencia alteran significativamente el correcto funcionamiento de los mismos.

Los equipos informáticos suelen ser tolerantes y generalmente no se ven afectados por corrimientos menores en la frecuencia del generador local. Lo que se vería afectado es cualquier dispositivo con motor o dispositivo sensible que dependa del ciclado regular estable de la alimentación a lo largo del tiempo.

Las variaciones de frecuencia pueden lograr que un motor funcione más rápido o más lento para equiparar la frecuencia de la alimentación de la entrada (tanto los de inducción como los síncronos). Esto haría que el motor funcionara ineficazmente y/o provocaría más calor y degradación del motor a través de una mayor velocidad del motor y/o un consumo adicional de corriente.

Las disminuciones de frecuencia acortan la vida de las luminarias con lámparas de descarga y disminuyen la velocidad de los motores.

Los aumentos de frecuencia aumentan la velocidad de los motores y disminuyen la luminancia de las lámparas de descarga, etc.

Además impiden un buen funcionamiento en muchos equipos provistos de sincronismos basados en la frecuencia de red, especialmente cuando las variaciones de frecuencia son bruscas ($>1\text{Hz}$).

Actualmente existen reguladores de caudal que vienen ya diseñados de fábrica y que se denominan gobernadores. Pero este sistema de gobernador importado presenta costos relativamente elevados dependiendo de las marcas, y su origen de fabricación. El costo de los equipos no siempre puede ser accesible para las poblaciones rurales. Es por esta razón que estos gobernadores se instalan en centrales hidroeléctricas de mayores capacidades.

El detalle de las consecuencias ocasionadas por la problemática de la variación de frecuencia se la menciona con mayor énfasis en el capítulo III.

CAPITULO II

OBJETIVOS Y JUSTIFICACION

2.1 OBJETIVO GENERAL

Brindar una solución definitiva a los problemas de la variación de frecuencia en microcentrales hidroeléctricas, mediante la implementación de un sistema electrónico de regulación y control de caudal.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Se tienen las siguientes:

- Instalar un sensor en la parte del eje de la turbina, para detectar las diferentes variaciones de velocidad a ser controladas.
- Adaptación de un contador digital que pueda recibir las señales emitidas por el sensor para luego ser procesadas y clasificadas en varias señales de salida.
- Instalar un circuito de puente H que pueda controlar los cambios de sentido de la corriente directa.
- Instalar transistores con la finalidad de amplificar la corriente.
- Instalar relés que puedan comandar el motor.
- Realizar adaptaciones de un motorreductor, que será comandado por el puente H, para que accione el alabe regulador de la turbina.

2.3 JUSTIFICACION

En Bolivia, aproximadamente el 50% de la población vive en áreas rurales. Sólo el 33% de esta población tiene acceso a servicios de electricidad modernos.

En nuestro país, de los 327 municipios existentes, 122 de ellos presentan una cobertura de electrificación inferior al 25%. Este porcentaje está relacionado a sus condiciones de pobreza y elevados índices de desigualdad. Solamente en el área rural existen 700.000 hogares sin electricidad. Por otra parte, 200 mil hogares se encuentran viviendo y produciendo en áreas aisladas y dispersas, las cuales solo puede ser atendidas impulsando proyectos con energías renovables.

Ante esta realidad, el Vice ministerio de Electricidad, Energías Alternativas y Telecomunicaciones ha desarrollado un plan quinquenal de desarrollo sectorial, que considera entre sus metas, el desarrollo de nuevos programas de electrificación en base a energías renovables, considerando el potencial de cada región².

Según la Ley de Electricidad No. 1604 del 21 de diciembre de 1994,³ en su artículo 61, 62 y 63 indica claramente que el Estado, a través del Fondo Nacional de Desarrollo Regional, destinará recursos de financiamiento interno y externo con destino a proyectos de electrificación en poblaciones menores y en el área rural y propondrá políticas y estrategias que permitan el uso de otras fuentes energéticas, con destino al suministro de energía a poblaciones menores y al sector rural, dentro del marco de las políticas integrales de desarrollo de este sector.

Tomando como base esta Ley, llegamos a la conclusión de que este trabajo, se encuentra aun dentro de este marco, teniendo en cuenta que un regulador de caudal es un componente esencial e importante dentro de una planta de generación eléctrica. Ya que es la encargada de garantizar un rendimiento de producción óptimo para su consumo.

²Manual del operador hidromecánico de una microcentral hidroeléctrica.

La Paz – Bolivia (Fuente del internet).

³ Ley N1604 de 21 de diciembre de 1994 (Titulo VII, Disposiciones finales, Electrificación en poblaciones menores y en el área rural)

También según la Superintendencia de Electricidad en uso de sus facultades y atribuciones conferidas por la Ley de Electricidad y su Reglamentación se tiene que los estudios deberán demostrar que las variaciones transitorias y temporarias de frecuencia no excederán de los siguientes límites:⁴

- | | |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| - Valores admisibles luego de una perturbación | Máximo: 4% de la nominal
Mínimo 5% de la nominal |
| - Tiempos máximos de frecuencia temporal | 10 seg. entre 51.5 y 52.0 Hz
20 seg. entre 47.5 y 48.0 Hz
20 seg. entre 48.0 y 49.0 Hz |
| - Frecuencia admisible luego de 20 seg. | De 49.0 a 51.0 Hz |

Estamos de acuerdo en que la constante demanda de energía eléctrica se incrementa en forma proporcional de acuerdo al crecimiento de la población rural, y a la introducción de equipos y maquinarias destinados para fines industriales, domésticos, particulares, etc. Es de esta manera que la calidad de servicio eléctrico deberá ser lo más eficiente posible.

Otro aspecto importante de la necesidad de instalar un regulador de caudal, es la constante escases de agua cada vez mayor, debido al calentamiento global del planeta, que origina, que los niveles de agua de las vertientes experimenten una notable reducción de su caudal cada vez con mayor preponderancia. Por lo que se hace necesario un equipo que pueda limitar el caudal en las turbinas. Lo que nos obliga a buscar métodos alternativos en pos de una solución, con el afán de evitar el gasto excesivo de líquido.

En el caso de un regulador mediante carga balastro, esta siempre debe trabajar al máximo de su rendimiento, y lógicamente el caudal de ingreso debe estar siempre igualmente al máximo, razón demás para concluir que este sistema requiere de vertientes con mayores afluentes para su funcionamiento.

El regulador de caudal, muy aparte del objetivo de este proyecto, es precisamente también una alternativa y método para economizar el agua proveniente de las serranías.

⁴ SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD, ANEXO A LA RESOLUCION SSDE N° 123/2001 ANEXO N° 1 Alcance a la documentación sobre el efecto de las nuevas instalaciones en el SIN, (c-3).

CAPITULO III

EL CONTROL DE LA FRECUENCIA

En los sistemas hidroenergéticos aislados del sistema nacional se usan generadores sincrónicos, lo que significa que la frecuencia varía con la velocidad de rotación del generador, y ésta a su vez, con la carga instantánea. Se hace necesario un control que sea capaz de ajustar la velocidad de rotación del generador a cada nueva carga a que sea sometido. Esto se logra por dos métodos: mediante la regulación de carga y mediante la regulación de caudal.

La regulación de carga es la solución más sencilla desde el punto de vista electrónico, pues carece de elementos actuadores sobre el sistema. Su principio de funcionamiento se basa en mantener la carga del generador constante, añadiendo o quitando cargas balastos (resistencias calefactoras), en dependencia de la demanda de potencia; de esta manera cuando el generador está sometido a la máxima demanda de potencia, lo que pudiera ocurrir en el horario pico, la carga balastro a su salida se hace cero. Por el contrario, si la demanda en algún momento llega a ser cero, lo cual sería el peor caso, entonces la carga balastro deberá consumir toda la potencia que está entregando el generador. Estos sistemas son muy estables, pero tienen la gran desventaja de que la turbina tiene que entregar en todo momento la máxima potencia, lo que significa que el gasto de agua también debe ser mayor.

La regulación de caudal se realiza mediante sistemas electromecánicos, por lo que tiene la desventaja de ser menos estable, más compleja y muy sensible, además de ser más costosa porque necesita elementos actuadores que, por lo general, son caros y difíciles de adquirir. Sin embargo, tiene la ventaja de contribuir al ahorro de agua, que en definitiva, es lo que los hace apropiados para las condiciones de las instalaciones en las que las reservas de agua son escasas.

El principio de funcionamiento de los reguladores de caudal, se basa en aumentar el caudal de agua al producirse una disminución de la velocidad de rotación del generador,

cuando aumenta la demanda de energía de la carga. De igual forma, cuando disminuye la demanda de la carga, el generador aumenta su velocidad de rotación aumentando la frecuencia, entonces se disminuye el caudal de agua, con lo que se disminuye la velocidad del generador. De esta forma, es posible mantener la frecuencia en el entorno de los 50 Hz propios del sistema eléctrico en Bolivia.

Se reporta la existencia de reguladores de caudal hidráulicos, de accionamiento mecánico y electrónico, pero en la actualidad los más usados son los hidráulicos y los electrónicos; aunque, debido al excesivo costo, no se justifica la instalación de reguladores hidráulicos en sistemas de generación a pequeña escala. Por esta razón, los reguladores electrónicos de caudal son los más usados, sobre todo en los casos de pequeñas obras hidráulicas.

3.1 DEFINICION DE FRECUENCIA

La frecuencia de la (C.A.) constituye un fenómeno físico que se repite cíclicamente un número determinado de veces durante un segundo de tiempo y puede abarcar desde uno hasta millones de ciclos por segundo o hertz (Hz).⁵



Figura N° 1

En la ilustración se puede observar a la izquierda la representación gráfica de una onda sinusoidal de corriente alterna con una frecuencia de un ciclo por segundo o hertz mientras que a la derecha aparece la misma onda, pro ahora con seis ciclos por segundo o hertz.

La tensión de la red domiciliaria es de 50 Hz, es decir realiza 50 ciclos en un segundo, como se la puede ver a continuación en la figura N° 2.

⁵ Texto e ilustraciones José Antonio E. García Álvarez (www.asifunciona.com, fuente internet).

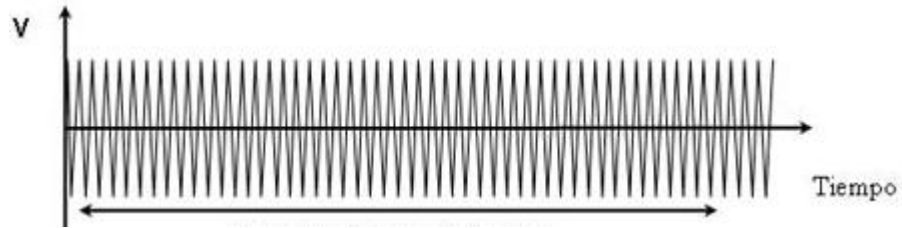


Figura N° 2
50 ciclos en un segundo

La frecuencia se representa con la letra (f) y su unidad de medida es el ciclo por segundo o hertz (Hz). Sus múltiplos más generalmente empleados son los siguientes:

- kilohertz (kHz) = 10^3 hertz = mil hertz
- Megahertz (MHz) = 10^6 hertz = un millón de hertz
- Gigahertz (GHz) = 10^9 hertz = mil millones de hertz

La corriente alterna puede tener diferentes formas de onda, pero la más común es la que presenta una onda sinusoidal o senoidal por cada ciclo de frecuencia.

3.1.1 AMPLITUD DE ONDA



Figura N° 3

como “nodo” o “cero”.

La amplitud de onda es el valor máximo, tanto positivo como negativo, que puede llegar a adquirir la senoide de una señal de corriente alterna. El valor máximo positivo que toma la amplitud de una onda senoidal recibe el nombre de "pico o cresta", mientras que el valor máximo negativo de la propia onda se denomina "vientre o valle". El punto donde el valor de la onda se anula al pasar del valor positivo al negativo, o viceversa, se conoce

3.1.2 PERIODO DE LA CORRIENTE ALTERNA

El tiempo que demora cada valor de la senoide de corriente alterna en repetirse o cumplir un ciclo completo, ya sea entre pico y pico, entre valle y valle o entre nodo y nodo,

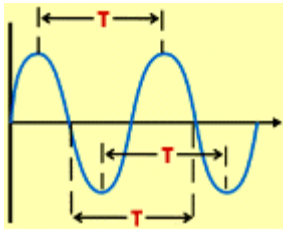


Figura N° 4

se conoce como “período”. El período se expresa en segundos y se representa con la letra (T).

El período es lo inverso de la frecuencia y, matemáticamente, se puede representar por medio de la siguiente fórmula:

$$T = \frac{1}{f}$$

Por tanto, por medio de esta fórmula podemos conocer también cuál es la frecuencia de la corriente conociendo previamente el valor del período. Para ello despejamos (f) de la forma siguiente y el resultado se obtendrá en ciclos por segundos o hertz:

$$f = \frac{1}{T}$$

3.1.3 LONGITUD DE ONDA

La longitud de onda representa la distancia existente entre dos picos o crestas consecutivos, dos valles consecutivos o el doble de la distancia entre un nodo y otro de la onda sinusoidal o senoidal de una corriente alterna, medida en metros. La longitud de onda se representa por medio de la letra griega lambda (λ).

La longitud de una onda sinusoidal es inversamente proporcional a la frecuencia de la corriente. Es decir, a frecuencias muy bajas la onda puede alcanzar kilómetros de longitud entre cresta y cresta, mientras que a frecuencias más altas la distancia se acorta.

La frecuencia de la corriente que suministran los generadores o alternadores de las plantas eléctricas a las industrias y ciudades es, por ejemplo, de 50 ciclos por segundo o hertz (Hz) en Europa y de 60 ciclos por segundo o hertz en América.

La unidad de medida de la corriente alterna se denomina hertz (Hz), en honor del físico alemán *Heindrich Rudolf Hertz*(1857 – 1894), quien descubrió el principio que rige la propagación de las ondas electromagnéticas, conocidas también como “ondas hertzianas”. Años más tarde el físico e inventor italiano *Guglielmo Marconi*, basándose en ese principio descubierto por Hertz, logró construir el primer transmisor de ondas de radio.

La frecuencia de la corriente alterna para uso industrial y doméstico ocupa sólo una pequeña porción del *espectro de ondas electromagnéticas*, correspondiente a las

frecuencias extremadamente bajas, mientras que las de radio, televisión, microondas, rayos infrarrojos, etc., alcanzan valores de frecuencias mucho más altos.

3.2 CONSIDERACIONES DE LA FRECUENCIA

La mayoría de los países utilizan una frecuencia de 50 Hz, es decir el periodo se realiza 50 veces por segundo. Países como Canadá, EEUU, Japón, o Brasil, utilizan una frecuencia de 60 Hz. A 60 Hz con el mismo componente o maquina, se obtienen valores de potencia superiores debido a su mayor frecuencia. Entonces: ¿Por qué no todos los países adoptan los 60 Hz, o aun mejor 100 Hz, 1000 Hz, o 100 000 Hz, si a más frecuencia más energía?

La respuesta es simple; al aumentar la frecuencia también aumenta su reactancia inductiva ($X_L = W+L$) y por tanto aumenta el consumo, bajando el rendimiento. El rendimiento óptimo se obtiene alrededor de los 50 Hz, siendo a esta frecuencia donde las maquinas trabajan en condiciones económicas.⁶

Frecuencias mayores se aplican cuando con poco peso se deben conseguir potencias elevadas, sin importar mucho el consumo, un ejemplo lo constituyen los aparatos destinados al transporte aéreo, donde priva el peso sobre el consumo.

3.3 ANALISIS DE LA VARIACION DE FRECUENCIA

Las variaciones de frecuencia son definidas como desviaciones de la frecuencia fundamental del sistema de potencia de su valor nominal específico, que para el caso de Bolivia es de 50 Hz. La regulación de la frecuencia o número de ciclos por segundo no es relevante cuando los equipos operan con la línea comercial, ya que ésta es muy estable. Sin embargo, la situación se vuelve crítica en el caso de las microcentrales, las cuales son inherentemente inestables en frecuencia. Dado que estas plantas son dispositivos electromecánicos de capacidad limitada, su frecuencia y tensión de salida no son estables bajo condiciones reales de operación. Una mala regulación de frecuencia da lugar a errores

⁶ Los autores, 2000, diccionas UPC 2000 (Capitulo I. La electricidad).

inexplicables, errores de calibración en motores síncronos y relojes electrónicos, entre otros, etc.⁷

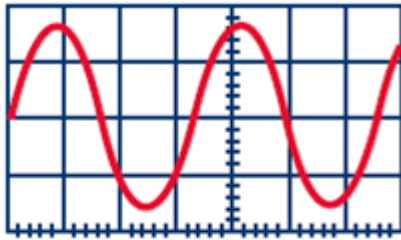


Figura N° 5
Frecuencia normal

Las normas internacionales permiten una variación de frecuencia de ± 3 Hz, fuera de estos valores, dicha variación de frecuencia repercute seriamente en los equipos ya que pueden aumentar o disminuir la velocidad de los equipos y al igual que las variaciones de frecuencia alteran significativamente el correcto funcionamiento de los mismos.

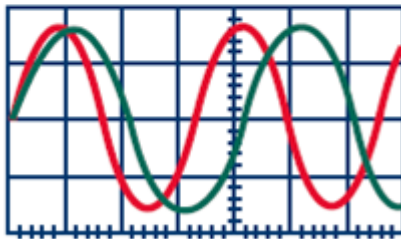


Figura N° 6
Inestabilidad de frecuencia

En los últimos años, la regulación de frecuencia ha adquirido gran interés al ser considerado un servicio auxiliar, su importancia radica en la estrecha relación que existe entre el control de potencia activa y la regulación de frecuencia. La carga total del sistema cambia en cada instante, debido a la variación de los requerimientos de

cada uno de los consumos parciales, a la conexión y desconexión, todo esto provoca alteraciones en la cantidad de potencia demandada que afecta a la frecuencia.

En el presente capítulo se aborda la regulación de frecuencia, realizando un análisis técnico y luego un estudio de los niveles permitidos y de las exigencias que se realizan para entregar un servicio confiable y seguro en este aspecto.

3.3.1 ASPECTOS TECNICOS

En un sistema interconectado, muchas centrales generadoras grandes y pequeñas están conectadas síncronamente y por esto tienen la misma frecuencia, lo que afecta al sistema entero. Lo más probable es que la producción de los generadores en cualquier instante difiera de la carga del sistema. Si la salida es más elevada de lo que la demanda exige, las máquinas tenderán a aumentar su velocidad y la frecuencia aumentará y viceversa, por lo tanto, la frecuencia no es una magnitud constante sino que varía

⁷ Información técnica Sistemas con UPSs – Problemas de la energía comercial.

continuamente; estas variaciones son normalmente pequeñas y no son percibidas por la mayor parte de los consumidores.

Según sus características las variaciones de frecuencia⁸ se pueden separar en tres grupos:

- Variaciones lentas de frecuencia.
- Variaciones bruscas de pequeña amplitud.
- Variaciones bruscas de mayor amplitud.

3.4 REGULACION DE LA FRECUENCIA

La regulación, se logra mediante un regulador de frecuencia, que pueden ser electrónicos, mecánicos, hidráulicos y electromecánicos, donde la constante a manejar siempre será el control de la variación de la frecuencia, debido a la variación de carga que se origina debido a la demanda de los usuarios.



Figura N° 7
Esquema del principio de funcionamiento

El diagrama anterior ilustra el principio de funcionamiento del regulador de frecuencia a caudal constante⁹. Como puede apreciarse, cualquier modificación en la carga primaria o en la carga hidráulica se traduce en una variación de la velocidad de la máquina. Es aquí donde actúa el sistema regulador, conectando a la carga secundaria si la frecuencia se encuentra debajo del límite inferior establecido (por ejemplo 49.5 Hz), o disminuyendo el valor de ésta si la frecuencia excedió el límite superior programado (por ejemplo 50.5 Hz). Si el valor de la frecuencia se encuentra dentro del rango mencionado, no se modifica

⁸ Trabajo final.mht (Fuente internet).

⁹ Diseño, Construcción y Ensayo de una Turbina de Flujo Transversal para Generación Eléctrica en Sitios Aislados, Ariel R. Marchegiani (marchegi@uncoma.edu.ar) ARGENTINA

la cantidad de carga secundaria conectada al sistema. Todas estas acciones tienen como objetivo mantener la velocidad de la máquina en su valor nominal y corregir las posibles variaciones en la frecuencia de la línea.

3.4.1 MECANISMOS DE REGULACION

Existen distintos mecanismos de regulación, algunos pueden ser manuales y otros automáticos, estos mecanismos pueden estar limitados a un determinado generador, es decir, a la central eléctrica o instalados para regular los sistemas interconectados, obviamente a mayor nivel de redes más complejos y sofisticados serán estos mecanismos

3.4.2 REGULACION DE LA VELOCIDAD EN LA TURBINA

El agua que llega por la tubería de presión, es conducida hacia el rodete por una tobera convergente de sección transversal rectangular denominada inyector, la que está provista de un órgano regulador de flujos (alabe), que permite regular el caudal según las exigencias de la demanda, y de esta manera la cantidad de líquido que pasa influye directamente en la velocidad de giro de la turbina.

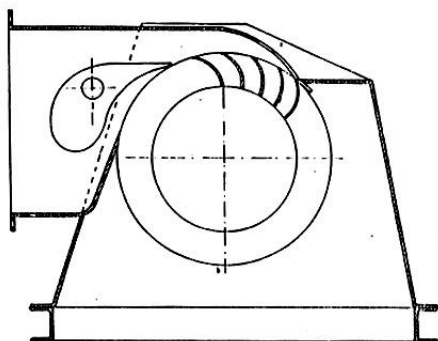


Figura N° 8
Turbina de alabe regulador

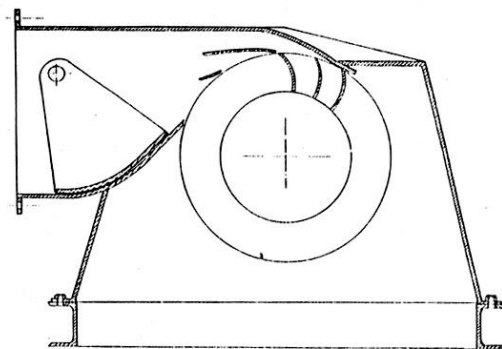


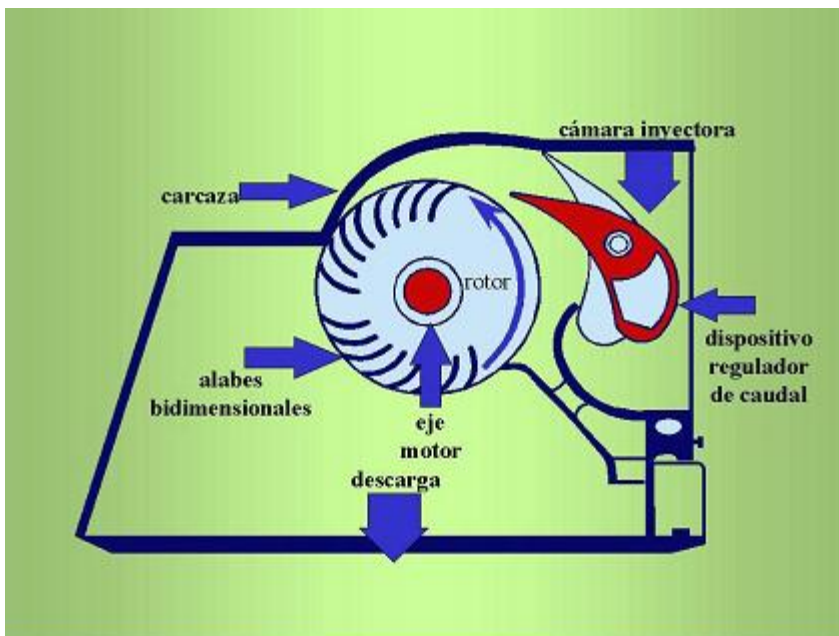
Figura N° 9
Turbina de compuerta reguladora

En las figuras 8 y 9 se muestran la configuración geométrica y las características eficiencia - gasto (relativo-porcentual) de dos diseños de turbinas Banky, dotadas ambas de diferente tipo de accionamiento de regulación de caudal. En dichas curvas puede apreciarse el buen comportamiento energético en cargas parciales de dichas turbinas.

La Turbina de Alabe Regulador tiene un rendimiento máximo del 70% y, para cualquier gasto superior al 25% del máximo, mantiene su eficiencia por encima del 50%.

La Turbina Compuerta Reguladora (curva de trazos) tiene un pico de rendimiento máximo del 75% y se da para un caudal del 50% del máximo, manteniendo su rendimiento superior al 70% en carga parciales entre el 25% y 80% del caudal máximo.

Los diseños actuales de álabes regulador mejorados por SKAT para el programa de MCH's de Nepal (Turbina T12), alcanzan rendimientos mayores al 70% en aperturas parciales desde el 50% hasta plena carga¹⁰.



En el caso concreto que nos ocupa, la magnitud, objeto de la regulación, es la velocidad o número de revoluciones por minuto a que ha de girar el rodete de la turbina, con el fin de que, por medio del eje se transmita el giro uniforme que debe de existir y mantenerse

Figura N° 10

entre dicho rodete y el rotor del alternador.

Dado que en la realidad las cargas solicitadas varían constantemente, es necesario adaptar el trabajo motor al resistente, y esto se consigue graduando adecuadamente el paso de agua hacia el rodete. Al regular el caudal de agua preciso para cada valor de carga en cada instante se dispondrá de la potencia requerida debiéndose obtener al mismo tiempo el número de revoluciones de funcionamiento normal de la turbina.

¹⁰ Daniel Muguerza – Microcentrales Hidroeléctricas Página 47 de 81

Para cumplir las metas deseadas en este capítulo, se analizará el regulador de velocidad de la turbina tradicional, que se menciona a continuación.

3.4.3 TURBINA TRADICIONAL

Está compuesta por los siguientes dispositivos:

- Un sistema de medida que detecta las variaciones de velocidad (tacómetro).
- Un servomecanismo capaz de transformar la señal del sistema de medida en la acción de variar la admisión de la turbina.
- Órganos de regulación: válvulas, álabes, deflectores son los encargados de realizar la regulación propiamente tal.
- Un dispositivo de amortiguación que reduzca las oscilaciones del conjunto. El esquema de este sistema de regulación se muestra en (ANEXO 7, fig. a).

Las variaciones de velocidad angular de la turbina tradicional son medidas la mayoría de las veces con un regulador centrífugo de Watt. En este tipo de regulador, tradicionalmente se ven dos pesos que se mueven radialmente alejándose del eje cuando su velocidad de rotación aumenta y así actúan moviendo un manguito sobre un vástago central¹¹. El movimiento de este manguito se transmite, mediante un mecanismo de palanca, al pistón de una válvula piloto y mediante dicho mecanismo se hace funcionar el servomotor. En este mecanismo existe una zona muerta, es decir, la velocidad debe cambiar en una cierta cantidad antes de que la válvula comience a funcionar, debido al rozamiento y al punto muerto del retroceso mecánico. El tiempo empleado por la válvula principal para moverse debido a los retrasos en los sistemas de la válvula piloto hidráulica y del servomotor es apreciable, de 0,2 a 0,3.

Una característica importante del sistema de regulación es el mecanismo mediante el cual la posición del manguito del regulador y, por lo tanto, las posiciones de la válvula principal pueden variarse y ajustarse independientemente de su actuación debido a la variación de velocidad. Esto se realiza mediante el variador de velocidad o motor acelerador como a veces se le denomina. El efecto de este ajuste consiste en la producción

¹¹ "Ancillary Services", Ronald Contreras, Juan Lambrecht, Curso Seminario de Sistemas de Potencia, 1996

de una familia de características paralelas. De aquí que la potencia de salida del generador a una velocidad determinada pudiere ajustarse según nuestra voluntad y esto tiene una importancia extrema cuando se ha de funcionar con economía óptima. En el (ANEXO 7, fig. b) se puede ver la parte del diagrama esquemático de montaje de control automático).

Las turbinas cuentan con un control de emergencia que cierra la admisión en el caso de pérdida total de la carga con el fin de evitar el posible embalamiento, este cierre ocurre a velocidades preestablecidas.

3.5 LIMITES DE FRECUENCIA EN LAS TURBINAS

Se ha investigado sobre rangos de sub y sobre frecuencia admisibles en unidades de generación hidráulica y térmica, considerados en los requisitos mínimos para el ingreso al sistema en países como Brasil, Argentina, Chile y de algunas empresas de generación de Estados Unidos y Canadá. También se ha recopilado información respecto de las protecciones de frecuencia de unidades de generación en sistemas eléctricos de otros países y del SEIN.¹²

Se debe mencionar que la operación prolongada a bajas frecuencia de un sistema eléctrico de potencia está supeditada a los límites operativos de los equipos de la red. Estos límites usualmente están asociados con la operación de los servicios auxiliares de las centrales eléctricas, que empiezan a ser perjudicados cuando la frecuencia asume valores por debajo de 59,0 Hz, hecho que provoca reducciones en la potencia de generación. Las condiciones límite se suelen presentar generalmente a 55,0 Hz, por esta razón las protecciones de mínima frecuencia de las unidades de generación se ajustan con valores entre 56,0 y 57,0 Hz.

En el caso de las turbinas a vapor como unidades de restricciones con respecto a la frecuencia, el daño se presenta debido a las vibraciones mecánicas por operación a frecuencias diferentes de la frecuencia de diseño. La magnitud de estas vibraciones mecánicas depende de la desviación de la frecuencia respecto del valor nominal; mientras más prolongada sea la exposición mayor será el daño. Por esta razón, sobre la base de una

¹² "Sistemas Eléctricos de Potencia", Walter Brokering, 1975.

gran cantidad de datos de vibración en diferentes turbinas de vapor, recomienda respetar los límites de operación a frecuencias fuera del valor nominal. En la parte del (ANEXO 8, tabla 8.1, 8.3 y figura a), se muestra un rango típico de límites de exposición de unidades de generación de vapor ante sub y sobre frecuencias en sistemas eléctricos de 60 Hz.¹³ En el (ANEXO 8, tabla 8.2) se muestra un ejemplo de una curva de una cierta turbina de vapor en la cual se aprecia una zona blanca entre 59,5 Hz y 60,5 Hz que es el área de operación en servicio continuo sin restricciones, mientras que las zonas sombreadas sobre 60,5 Hz y debajo de 59,5 Hz son áreas de operación restringidas con límites de tiempo.

Por otro lado, los límites de frecuencia para generadores de turbinas hidráulicas son menos exigentes que cuando las turbinas son de vapor y de combustión interna. Normalmente las turbinas hidráulicas están diseñadas para soportar condiciones más severas de excesos de velocidad y se puede considerar que dentro del rango de 57,0 Hz a 63,0 Hz se da la capacidad de operación continua a frecuencia anormal.¹⁴

3.6 VOLTAJE Y FRECUENCIA EN EL GENERADOR

La diferencia entre la energía generada, y la energía consumida por la carga eléctrica; provoca variaciones del voltaje y la frecuencia, cuyo carácter oscilatorio depende de las características eléctricas del circuito interno propio del generador y de su circuito exterior de excitación y de carga. La variación de la frecuencia es un indicador de la relación entre la producción y el consumo, la misma que debido a la relación rígida que existe entre la velocidad y la frecuencia, cualquier variación o transitorio en algún lado del sistema motor generador, se siente en el otro.

3.6.1 EFECTOS DE LA VELOCIDAD EN EL VOLTAJE Y LA FRECUENCIA DE GENERACIÓN

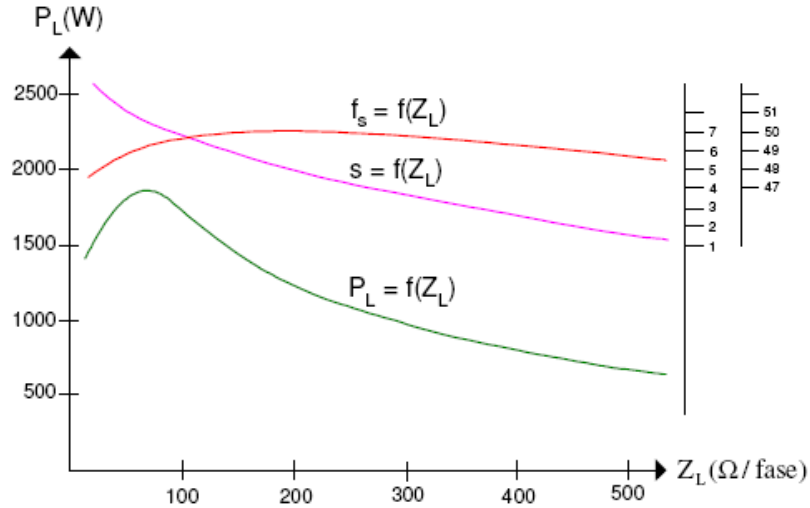
Las principales características del funcionamiento en régimen estable del generador de inducción autoexcitado con carga, relacionan entre sí a su voltaje terminal, frecuencia de

¹³ ANEXO – Límites de frecuencia en turbina (fuente internet).

¹⁴ INFORME TECNICO COES-SINAC/DEV-158-2005, “Rangos admisibles de variación de frecuencia para unidades de generación del SEIN ”, Abril, 2005. Fuente internet.

operación, potencia activa de carga, potencia total de salida y deslizamiento. Algunas de estas características, se pueden ver ilustrativamente en la tabla N° 1

TABLA N° 1

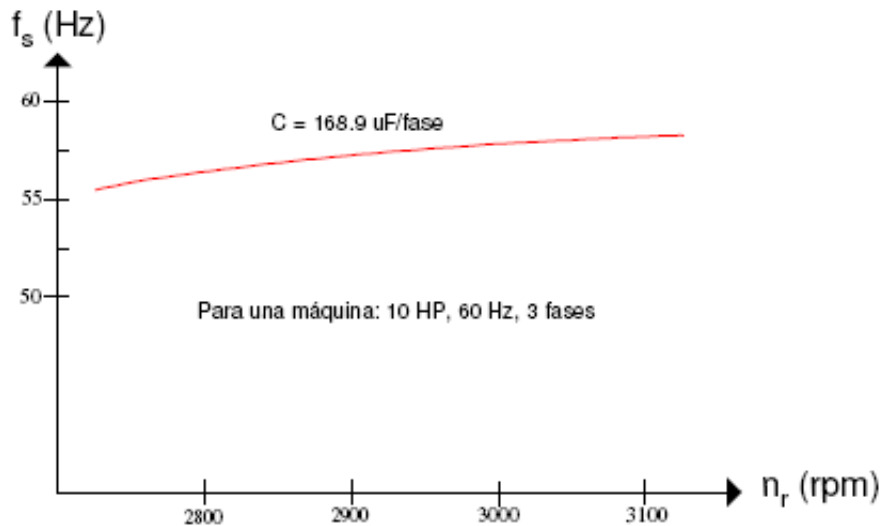


Curvas características del generador de inducción: f_s, s , y P_L vs. impedancia de carga.

3.6.2 EFECTO DE LA VARIACION DE LA VELOCIDAD

La variación de la velocidad de la máquina motriz, influye en forma directa sobre la frecuencia a cualquier condición de carga. En la tabla N° 2, se ve la influencia casi lineal de la velocidad sobre la frecuencia de operación de las corrientes en el estator de la máquina.

TABLA N° 2



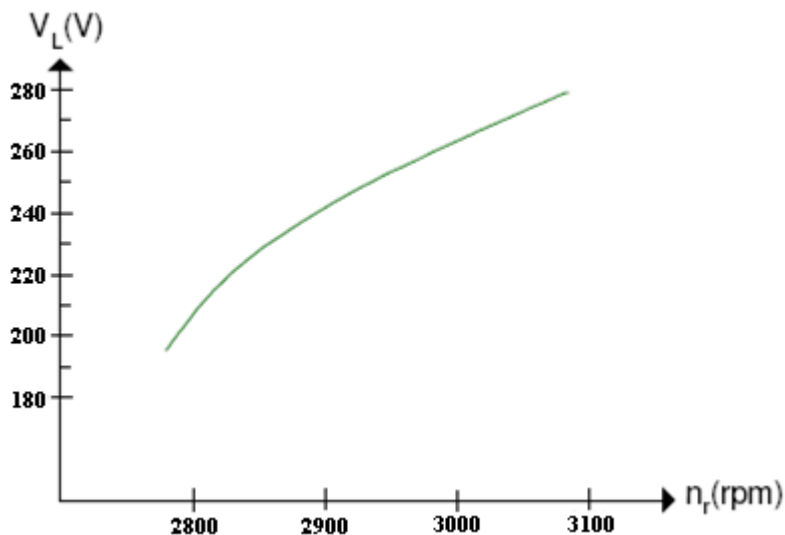
Característica frecuencia vs velocidad.

Con respecto al voltaje terminal, hay dos factores que determinan su variación:

1. La curva de magnetización, al aumentar la velocidad, la máquina toma una característica de magnetización “mayor” aumentando el voltaje de generación.
2. Cambio de la pendiente lineal, voltaje-corriente del capacitor de excitación, un incremento de la velocidad, produce un incremento del voltaje terminal.

En la tabla N° 3, mostrada a continuación, se puede apreciar la variación del voltaje terminal, en función de la velocidad de operación de una máquina de inducción como generador.

TABLA N° 3



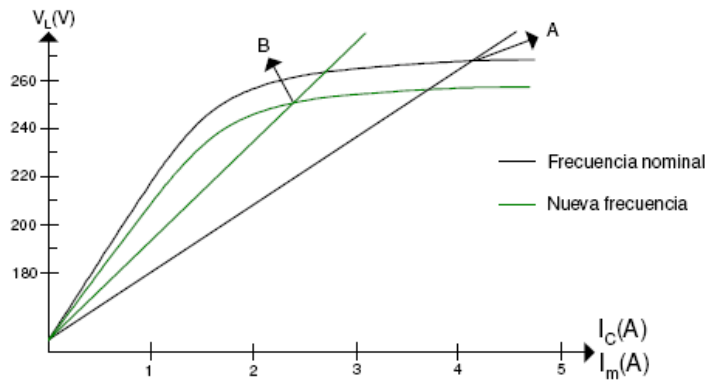
Característica voltaje terminal vs velocidad.

3.6.3 EFECTOS DE LA VARIACIÓN DE LA CARGA

Al aumentar una carga resistiva conectada a los terminales del estator, varía el deslizamiento de la máquina y por ende la frecuencia del voltaje de generación, la que para un sistema de velocidad constante esta variación es mínima o despreciable.

La variación de la frecuencia, afecta a las reactancias inductivas y capacitivas del sistema, provocando que la característica de magnetización siga una curva “menor” y aumente la pendiente de la característica lineal del capacitor de excitación, produciéndose la intersección de las mismas a un voltaje terminal menor, punto B de la figura.

TABLA N° 4



Característica voltaje terminal vs. corriente de excitación para diferentes valores de carga.

3.6.4 ASPECTOS SOBRE LA CALIDAD DEL SERVICIO DE VOLTAJE Y FRECUENCIA

La calidad de suministro de energía eléctrica, se mide en función de la forma de onda y de la magnitud del voltaje y su frecuencia. En un sistema ideal, el voltaje y la frecuencia deben ser constantes en cada punto de servicio, a factor de potencia unitario.

Las caídas admisibles de voltaje, varían según la frecuencia de dichas variaciones o fluctuaciones, que son perturbaciones en las cuales el valor eficaz del voltaje de suministro cambia con respecto a su valor nominal. El factor armónico que es una medida de la distorsión de una forma de onda, expresado como porcentaje del voltaje nominal, no debe superar el 8.0% para voltajes de M.T y B.T, y debe ser menor o igual al 3.0% para voltajes de A.T

Debido a la naturaleza de la variación de la carga, es físicamente imposible asegurar una distribución simétrica de cargas y muchas veces los generadores tienen que operar en condiciones asimétricas de carga; que según la norma NEMA MG 1-1998 14.36, cualquier sistema de generación tiene que operar con cierto grado máximo de desequilibrio (V%), que se define como:

$$V(\%) = \frac{\text{Máximo voltaje de desviación respecto al voltaje promedio}}{\text{Voltaje promedio}} (100\%)$$

Según la norma referida NEMA MG1-1998 14.36, se recomienda mantener el desbalance de voltaje menor al 3.0%, señalando que cada fase individual debe estar dentro de los límites indicados.

3.6.5 TOLERANCIA A LA VARIACION DE FRECUENCIA DE ALGUNAS CARGAS ELECTRICAS

TABLA N° 5

EQUIPO	VOLTAJE	FRECUENCIA	COMENTARIOS
Motores de Inducción	(+/-) 10 %	(+/-) 5 %	<ul style="list-style-type: none"> - En baja frecuencia, puede malograrse por exceso de corriente en el bobinado. - En baja frecuencia, no arranca. - En alta frecuencia, puede averiarse. - El bajo voltaje resulta en bajo torque y alta temperatura. - El alto voltaje resulta en torque y corrientes altas de arranque.
Bobinas, arrancadores de motores	(+/-) 10 %	N/A	<ul style="list-style-type: none"> - La fuerza de contención de una bobina y su constante en el tiempo de decaimiento son proporcionales a los amperios vuelta de la bobina. - Las bobina pequeñas, pueden salir dentro de estas tolerancias para la caída de voltaje de transición
Iluminación incandescente	(+) 10 %, (-) 25 %	(+/-) 5 %	<ul style="list-style-type: none"> - En alta frecuencia se descomponen o duran menos. - La baja frecuencia hace que la luz parpadee. - Menor iluminación debido a baja tensión. - El bajo voltaje resulta en 65 % de luz. - El alto voltaje resulta en 50 % de vida.
Iluminación fluorescente	(+/-) 10 %	(+/-) 5%	<ul style="list-style-type: none"> - En baja frecuencia no enciende. - El alto voltaje resulta en sobrecalentamiento.
Iluminación HID	(+) 10 %, (-) 20 %	N/A	<ul style="list-style-type: none"> - El bajo voltaje resulta en apagados. - El alto voltaje resulta en sobrecalentamientos.
UPS estático	(+) 10 %, (-) 15 %	(+/-) 5 %	<ul style="list-style-type: none"> - No se descarga la batería hasta el (-) 20 % del voltaje. - Los UPSs son sensibles a los rangos de cambio de frecuencia de 0.5 Hz/s. - Podría ser necesario sobredimensionar el generador para limitar la distorsión armónica del voltaje.
VFDs	(+) 10 %, (-) 15 %	(+/-) 5 %	<ul style="list-style-type: none"> - Los VFDs¹⁵ son sensibles a los rangos de cambio de frecuencia e mas de 1 Hz/s - Podría ser necesario sobredimensionar el generador para limitar la distorsión armónica del voltaje.
Alternador	(+/-) 10 %	(+/-) 5 %	<ul style="list-style-type: none"> - En baja frecuencia puede causar una caída de voltaje en el sistema y sobrecalentarse.

¹⁵ VFDSs o impulsores de frecuencia variable, son cargas no – lineales que se usan para controlar la velocidad en motores de inducción.

			- En alta frecuencia puede dañarse por excesiva velocidad. ¹⁶
--	--	--	--------------------------------------------------------------------------

En el caso de los motores eléctricos, además de las deficiencias de tolerancia mostradas se presentan otras fallas debido a la variación de frecuencia.

El cambio de frecuencia como ya sabemos, permite el decremento e incremento de la velocidad del motor, lo que implica que deberán tenerse en cuenta la ocurrencia de fallas cuando se usen motores no adecuados para aplicaciones donde se presentan variaciones de frecuencia, entre ellas tenemos:

- Daño del devanado o fallas prematuras debido a los altos transitorios de voltaje repetitivos y por conmutaciones de frecuencias elevadas por arriba de 10 Kz.
- Torque de arranque insuficiente por niveles reducidos voltios/Hertz o por deficiencias en la capacidad instantánea de corriente del variador.
- Temperaturas excesivas en el aislamiento a cualquier velocidad de operación o carga determinada por la aplicación.
- Refrigeración insuficiente, torque excesivo, eficiencia reducida en el motor, requerimientos de potencia elevados o sobrecargas intermitentes en el motor son causas de excesivas temperaturas.
- Daño en rodamientos por paso de la corriente ocasionado por tensiones inducidas en el rotor debido a altas frecuencias de conmutación.
- Corrientes del motor excediendo los datos de placa, debido a excesivos armónicos de voltaje, niveles impropios voltios/hertz o sobrecarga.
- Niveles de ruido del motor excediendo los límites aceptables debido al incremento del ruido en el ventilador, excitación de los puntos mecánicos resonantes o ruido magnético debido a las formas de onda.¹⁷

Como lo mencionamos con anterioridad, es muy importante considerar que la variación de frecuencia influirá directamente en una variación de voltaje dependiendo de las circunstancias y ocasiones de consumo que se presentan.

Mayores detalles acerca de la fluctuación de voltaje, debido a la influencia de la

¹⁶ MANUAL DE MINI Y MICROCENTRALES HIDRAULICAS una guía para el desarrollo de proyectos.

¹⁷ Carlos H.Ramirez e-mail: petronila1966@hotmail.com

variación de la frecuencia y sus consecuencias fatales en motores eléctricos, se las mencionan en la parte del (ANEXO 10).

Pese a los inconvenientes que presentan los motores, existen en el mercado otros motores dotados de un sistema de aislamiento y técnicas de bobinados, que vienen reacondicionados para soportar los inconvenientes de variaciones de frecuencia. Estos motores generalmente son diseñados para trabajar con variadores de velocidad, que como sabemos estos aparatos tienen la finalidad de poder invertir la frecuencia y la tensión hasta ciertos niveles logrando de esta manera variar la velocidad del motor. Mayores informaciones se mencionan en (ANEXO 9).

3.7 ANALISIS DE LA REGULACION EN UN SISTEMA INTERCONECTADO

En las grandes centrales, las máquinas forman parte de un sistema más grande y su comportamiento estará condicionado por el resto del sistema, haciéndose más compleja la regulación debido al mayor número de generadores y centrales que se deben considerar, al igual que las cargas han aumentado y siguen patrones menos predecibles.

Un concepto que es necesario mencionar es el de característica potencia/frecuencia de un sistema interconectado. A la variación de potencia para una modificación determinada de la frecuencia en un sistema se le conoce como rigidez del sistema, cuanto más pequeña sea la variación de frecuencia para una variación de carga determinada, más rígido será el sistema. La característica potencia/frecuencia puede aproximarse a una recta descendiente, para lograr un control estable, por lo que a todo aumento de carga corresponderá una nueva condición de operación a una frecuencia ligeramente menor.

En los casos mencionados anteriormente existen distintos tipos de regulación de frecuencia, ellos son:

- Regulación Primaria: se produce cuando la regulación de frecuencia se realiza sin el uso automatizado del control carga-velocidad. Además controla la potencia generada por cada máquina.

- Regulación Secundaria: cuando es necesario controlar en forma automática la potencia que fluye por las líneas y modificar convenientemente la generación total de cada sistema para lograr un correcto ajuste, este ajuste se realiza más lento que el caso primario.
- Regulación Terciaria: cuando los sistemas son muy grandes y cuentan con muchos generadores es necesario controlar automáticamente las máquinas para alcanzar valores económicamente convenientes, considerando las características propias de cada generador.

En sistemas interconectados la manera más óptima para conseguir un correcto funcionamiento de estos se logra a través de la implementación de programas computacionales que buscan un óptimo resultado económico, incorporando el control automático y factores como los flujos de potencia a través de las líneas.

El diagrama típico de implementación de control automático para la regulación de un sistema se la muestra en (ANEXO 8, fig. b).

Si se desprecian las pérdidas por transporte, se ha demostrado que la economía óptima se obtiene cuando:

$$dF_n / dP_n = 1$$

Donde:

dF_n = Variación de frecuencia.

dP_n = Variación de potencia.

Si en el área controlada se produce un aumento de carga, se transmite a través del sistema de control una señal que solicita un aumento de la generación de energía. Estas variaciones alteran el valor de l y hacen que el aparato de control económico pida que los aparatos generadores que han de ponerse en funcionamiento lo hagan al mismo costo marginal. Finalmente, el sistema alcanza de nuevo el estado de régimen, habiendo sido absorbida la variación de carga y todas las unidades funcionan con un valor idéntico de pérdida marginal.

CAPITULO IV

MARCO TEÓRICO

La necesidad de dar a conocer el contenido del proyecto en un nivel más profundo, hace que este capítulo sea más ilustrativo y tenga mayor preponderancia a los detalles en las partes conceptuales, muy usados a lo largo de este trabajo. Es así que empezaremos a definir algunos conceptos a menudo tan usados.

4.1 LOS FLUIDOS

Un fluido es cualquier sustancia que no puede mantener una deformación, es decir aquellas materias que ofrecen pequeña o nula resistencia a las fuerzas tangenciales, o cortantes que se le aplican.

El movimiento de un fluido puede ser descrito en términos de un flujo. El flujo de los fluidos puede ser de régimen estable o de régimen variable.

4.1.1 PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS FLUIDOS

- Un fluido ideal (Líquido o gas) no requieren trabajo exterior alguno para las variaciones de forma geométrica a volumen constante.
- No existen fuerzas internas que se opongan a esfuerzos tangenciales ni de tracción.
- En el seno de un fluido en equilibrio, solo existen esfuerzos de compresión.

4.1.2 FUERZAS SOBRE UN FLUIDO

Definición. Las fuerzas que actúan sobre la masa de un fluido se denominan *fuerzas másicas*.

Densidad de la fuerza másica. Es la fuerza por unidad de volumen.

$$\mathbf{f} = \frac{d\mathbf{F}}{dV}$$

Intensidad de fuerza másica. Es la fuerza por unidad de masa.

$$\frac{d \mathbf{F}}{d m}$$

Caso particular. Si la única fuerza externa que actúa sobre un líquido es la de su peso, se tiene que:

$$d \mathbf{P} = dm \mathbf{g}$$

Y si, ρ es su densidad $dm = \rho d v$. Sustituyendo queda que la densidad de fuerza de la gravedad es:

$$\mathbf{f}_g = \rho \mathbf{g}$$

4.1.3 PRESION

Es una magnitud física cuyo valor mide el efecto que origina una fuerza perpendicular al área de una superficie¹⁸.

Cuando un fluido está en reposo ejerce una fuerza perpendicular sobre cualquier superficie que esté en contacto con él, como las paredes de un recipiente o la superficie de un cuerpo que esté sumergido en el fluido.

Definimos la presión P , en un punto del fluido, como el cociente de la fuerza normal F entre el área A , donde se aplica la fuerza:

$$P = F_n/A$$

Donde:

F_n = Es la fuerza normal o perpendicular a la superficie, en newton “N”

A = Área de la superficie, en “m²”

P = Es la presión, en “Pa”

1 pascal = 1 newton/ 1 m² = 1 Pa

4.1.4 EL AGUA Y SUS PROPIEDADES FISICAS

El agua es una sustancia cuyas moléculas son el resultado de la combinación de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida e incolora. El estado físico: sólida, líquida y gaseosa. Mayores informaciones del agua (ver ANEXO 1).

¹⁸ “FISICA GENERAL” Ing. Juan Goñi Galarza, Estática de Fluidos, página. 315.

4.1.5 CAUDAL

Se define por caudal, como el volumen del líquido que pasa por una sección normal de una corriente de agua en una unidad de tiempo¹⁹. Se define como:

$$Q = S * v$$

Donde:

Q = Caudal.²⁰

S = Sección.

V = Velocidad.

4.2 VALVULAS

Una válvula es un mecanismo que tiene por función el de controlar el flujo de un fluido, mediante un método que impida su retorno y que libere el exceso de presión cuando esta sobrepase ciertos límites de seguridad. En turbinas hidroeléctricas, se utiliza más las de compuerta y las de globo.

4.2.1 TIPOS DE VALVULAS

Entre los distintos tipos de válvulas para distintos usos se tienen las siguientes:

- Válvula de retención o válvula check.
- Válvulas de compuerta.
- Válvulas de globo.
- Válvulas reguladoras de presión.
- Válvulas reguladoras de caudal.
- Válvulas de alivio de presión.
- Válvulas de altitud.
- Válvulas de aire.

4.2.2 VALVULA COMPUERTA

La válvula del tipo compuerta permite el paso del flujo en posición completamente abierta y lo restringe en la posición completamente cerrada, con la mínima pérdida de carga

¹⁹ “HIDROMETRIA” Capitulo V (fuente internet).

²⁰ Las unidades de acuerdo al S. I. en (m³), es decir en metros cúbicos por segundo.

posible, cuando la válvula está abierta no solamente facilita el paso del fluido en línea recta, sino que, además, la sección mantiene la misma área de la tubería a la cual está unida.

4.2.3 PRESIÓN DE CIERRE Y PRESIÓN ESTÁTICA.

En el caso de una válvula reguladora, este sentido debe fijarse siempre de modo que el caudal y la presión tiendan a mantener la válvula abierta. Cuando la válvula regula en una posición muy próxima a la de cierre, la velocidad de flujo alrededor del obturador alcanza valores muy elevados y si el caudal y la presión, por disposición de la válvula, ayudan a cerrarla, entonces en algún punto cerca del cierre, la presión dinámica vence la resistencia del resorte y obliga a la válvula a cerrarse. Con ello se para la circulación y se anula la presión dinámica. Pero la presión estática diferencial por sí sola no es suficiente para mantener la válvula cerrada, de modo que se abriría y se repetiría el ciclo. Si se instala correctamente, la fuerza de cierre debe superar a la presión dinámica y a la estática. Se denomina presión de cierre al valor máximo que alcanza la suma de aquellos dos y constituye un elemento de juicio para la elección de las válvulas.

4.2.4 GOLPE DE ARIETE

Es un término que se utiliza para describir el choque producido por una súbita disminución de la velocidad de un fluido en un sistema hidráulico. Si un líquido al pasar por una canaleta fuera interrumpido bruscamente, el nivel del mismo subirá rápidamente desbordando por todos lados. Si tal fenómeno ocurriera dentro de un tubo, el líquido al no tener por donde salir provocaría una onda de presión que puede afectar a las paredes de la tubería²¹. Esta presión es directamente proporcional a la velocidad del fluido (v) y a la velocidad de la onda de presión (a). La siguiente ecuación calcula la sobrepresión producida por el golpe de ariete:

$$h = \frac{av}{g}$$

Donde:

h : Presión debida a golpe de ariete (m de columna de agua).

v : Velocidad del fluido (m/s).

²¹ "Línea PRESION" www.tigre.com.bo/plasmar@plasmar.com.bo (catalogo).

- a : Velocidad de la onda (m/s).
 g : Aceleración de la gravedad (m/s²).

La velocidad de la onda elástica de presión se obtiene de la ecuación de Allievi:

$$a = \sqrt{\frac{k}{\varrho/g(1 + (k/E)(D/e - 2))}}$$

Donde:

- a : Velocidad de propagación de la onda elástica (m/s)
 k : Módulo de elasticidad volumétrico o de compresibilidad del fluido
 (para el agua $2.06 \cdot 10^8$ Kg/m²)
 ϱ : Peso específico del fluido (para el agua $1 \cdot 10^3$ Kg/m³)
 D/e : Relación diámetro externo (mm) / espesor de pared (mm) = SDR
 E : Módulo de elasticidad del PVC ($2.81 \cdot 10^8$ Kg/m²)

Tal fenómeno, se presenta en los momentos de cierre y apertura de la válvula, que debe ser de aproximadamente a los 6 segundos.

Para obtener la ecuación producida por el golpe de ariete, es necesario obtener la velocidad de la onda elástica de presión a partir de la ecuación de Allievi para tuberías de acero y PVC.

4.2.5 TUBERIAS DE PRESION

Procuraremos no entrar en detalles profundos acerca de su selección, ya que no es nuestro objetivo. La tubería más conveniente requiere como primer paso determinar el diámetro de la misma y la presión de trabajo que deberá soportar durante su funcionamiento. En el caso de una misma potencia instalada, las combinaciones caudal / altura del aprovechamiento, indican si se requiere mayor diámetro (Q) y menor presión de trabajo (H) o viceversa.

Conocido el caudal de instalación la sección de tubería dependerá de la velocidad máxima admisible para el agua que circula en su interior. Esta velocidad máxima a su vez depende de la pérdida de altura que pueda admitir el proyecto.

Es deseable seleccionar velocidades que no introduzcan pérdidas mayores al 2% o 3%.²² No obstante si el recurso hídrico es abundante se debe encontrar la solución que minimice costos, atendiendo a los diámetros comerciales de plaza, aunque las pérdidas sean mayores (5%-10%).

El uso de tuberías plásticas se recomienda cuando los diámetros son inferiores a 300 mm. Requieren protección a la acción de la radiación ultravioleta²³. A modo de ejemplo se muestra una tabla de relación entre velocidad y diámetro para un tubo de polietileno de alta densidad (VER ANEXO 2).

4.3 LA TURBINA MITCHELL - BANKY

También se la conoce como la turbina de flujo transversal o Mitchell-Banky, es una máquina utilizada principalmente para pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. Sus ventajas principales están en su sencillo diseño y su fácil construcción lo que la hace atractiva en el balance económico de un aprovechamiento a pequeña escala. No obstante esto no impide que la turbina se utilice en grandes instalaciones. Aunque la turbina de flujo transversal se conoce como una máquina de pequeña escala, existen actualmente máquinas de este tipo de hasta 6 MW²⁴.

Las principales características de esta máquina son las siguientes:

- La velocidad de giro puede ser seleccionada en un amplio rango.
- El diámetro de la turbina no depende necesariamente del caudal.
- Se alcanza un nivel aceptable de rendimiento con pequeñas turbinas.
- Se puede REGULAR EL CAUDAL y la potencia por medio de un álabe regulador ajustable.

4.3.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La turbina consta de dos elementos principales: un inyector y un rotor. El agua es restituida mediante una descarga a presión atmosférica. El rotor está compuesto por dos discos paralelos a los cuales van unidos los álabes curvados en forma de sector circular.

²² Microcentrales Hidroeléctricas - Daniel Murguerza

²³ Microcentrales Hidroeléctricas - Daniel Murguerza - pagina 39 de 81

²⁴Turbinas Mitchel Banky: Criterios de Diseño, F. Zarate, C. Aguerre, R. Aguerre, Universidad Nacional de la Plata, La Plata, 1987 (fuente internet).

El inyector posee una sección transversal rectangular, y es el que dirige el agua hacia el rotor a través de una sección denominada arco de admisión que toma una determinada cantidad de álabes del mismo, a fin de obtener el mayor aprovechamiento de la energía. Posee una sección transversal de forma rectangular compuesto por dos caras laterales rectas que permiten descargar el flujo sobre todo el ancho del rotor, una cara superior envolvente que guía el flujo. La velocidad absoluta será tangente a esta curva en todo punto.

La energía del agua es transferida al rotor en dos etapas, lo que también da a esta máquina el nombre de turbina de doble efecto, y de las cuales la primera etapa entrega un promedio del 70% de la energía total transferida al rotor y la segunda alrededor del 30% restante (Audisio, 1997).

La regulación de la potencia se realiza variando el caudal que ingresa a la máquina, mediante un alabe regulador que permite estrechar la sección de pasaje del agua a través de un movimiento sobre su eje.

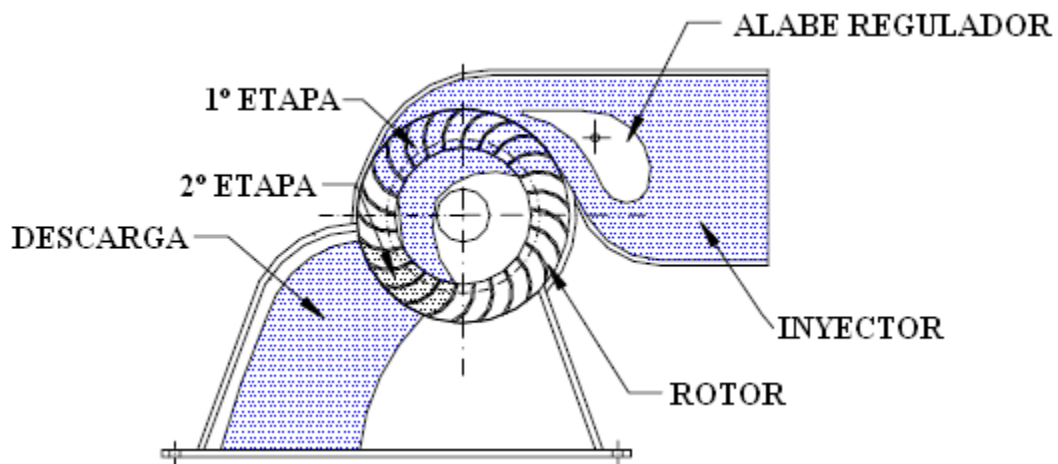


Figura N° 11

En la figura, se puede observar una turbina del tipo Mitchel Banky, el álabes regulador, es el que divide el flujo del caudal del agua en dos partes, una superior y otra inferior, con la finalidad de disminuir la cupla de accionamiento.

4.3.2 VELOCIDAD DE GIRO DE LA TURBINA HIDRÁULICA

La velocidad de giro, conocida también como **velocidad nominal** o **velocidad sincrónica** de la turbina, depende de la frecuencia a que ha de ser suministrada la corriente

eléctrica, normalmente de 50 períodos por segundo, y del número de pares de polos del alternador, además de otros factores que determinan precisamente las características de éste último, como son altura del salto de agua, potencia, tensión generada, etc.

$$n = \frac{60 * f}{P}$$

Donde:

n = Número de revoluciones por minuto (r.p.m.).

f = Frecuencia del sistema 50 períodos por segundo (p.p.s).

P = Número de pares de polos del alternador (Pe mayúscula).

60 = Segundos en un minuto.

Según la ecuación dada, se pueden obtener diferentes velocidades de sincronismo, las cuales dependen siempre de (P), es decir del numero de pares de polos que tenga el generador. (Ver ANEXO 3)

4.3.3 VARIACIONES TRANSITORIAS DE LA VELOCIDAD

Si las variaciones de carga en un grupo se produjeran siempre gradualmente, es decir, durante períodos de tiempo suficientemente prolongados, permitiendo que la regulación de velocidad se realizase lentamente. Las variaciones de velocidad quedarían dentro de un cierto límite, determinado por la sensibilidad del regulador.

Ahora bien, como es sabido, las oscilaciones de carga se pueden presentar bruscamente, esto es, durante un tiempo insuficiente para la actuación lenta de los dispositivos de regulación, con lo que se producen **variaciones transitorias de velocidad**.

Máxima variación transitoria de velocidad. Corresponde al exceso de velocidad máxima alcanzada por el rodete, como consecuencia de producirse una desconexión brusca del grupo respecto de la red, siempre y cuando, el distribuidor, responda adecuadamente a la orden de cierre dada por el regulador y, los elementos que cierran el paso de agua hacia la turbina, funcionen correctamente, válvulas, compuerta de toma, etc.

Depende del regulador de velocidad y de las características de la propia instalación.

Ley de cierre. El máximo aumento transitorio admitido, oscila entre el 25 y el 50 % sobre el valor de la velocidad nominal.

4.3.4 VELOCIDAD ESPECÍFICA DE UNA TURBINA.

La velocidad específica denominada también específica absoluta o velocidad angular específica, corresponde al número de revoluciones por minuto que daría una turbina semejante a la que se desea proyectar (de igual forma pero dimensiones reducidas), la cual, instalada en un salto de 1 m. de altura, proporcionaría una potencia de 1 CV.

Formula:

$$n_s = \frac{n}{H} * \sqrt{\frac{P}{\sqrt{H}}}$$

o también:

$$n_s = \frac{n * \sqrt{P}}{H * \sqrt[4]{H}}$$

En la que:

n_s = Velocidad específica en rpm.

n = Velocidad de sincronismo en rpm.

P = Potencia de la turbina en CV

H = Altura del salto en m.

4.4 EL EJE

Es un cilindro metálico y macizo acoplado al rodete y que juntas giran a una cierta velocidad con el objetivo de transmitir este movimiento rotacional a un generador.

Las Turbinas, ya sean Pelton, Mitchel-Banky u otras, vienen montadas en eje de acero cuyo diámetro va desde 50 a 100 mm de diámetro, y descansan en dos o más rodamientos auto-alienantes de rodillos a rótula (cónicos) encamisados en chumaceras de alta velocidad²⁵.

²⁵ Manual del operador hidromecánico de una microcentral hidroeléctrica, (fuente internet).

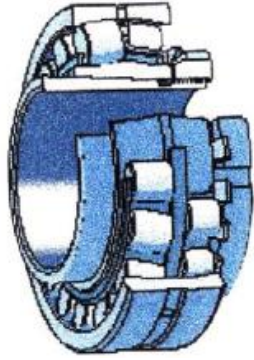


Figura N° 12
Rodamiento de rodillos a rótula a rótula SKF



Figura N° 13
Chumacera de Rodamiento de rodillos a rótula

4.5 EL SENSOR

Un sensor es un dispositivo que detecta, o capta manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos, como la energía, velocidad, aceleración, tamaño, cantidad, etc. En definitiva es un tipo de traductor que transforma la magnitud que se quiere medir, en otra que facilita su medida. Existe una variedad de tipos de sensores de diferentes accionamientos que pueden ser: de proximidad, posición, captadores fotoeléctricos, de contacto, de posición, captadores de movimiento, de ultrasonido, de esfuerzo, de velocidad, etc. El sensor que estudiaremos, es el sensor inductivo de proximidad.

4.5.1 SENSOR INDUCTIVO DE PROXIMIDAD

Los sensores inductivos de proximidad²⁶ son diseñados para trabajar generando un campo magnético y detectando las pérdidas de corriente de dicho campo generadas al introducirse en él los objetos de detección férricos y no férricos. El sensor consiste en una bobina con núcleo de ferrita, un oscilador, un sensor del nivel de disparo de la señal y un circuito de salida. Al introducir un objeto metálico en el campo, se inducen corrientes de histéresis en el objeto. Debido a ello hay una pérdida de energía y una menor amplitud de oscilación. El circuito sensor reconoce entonces un cambio específico de amplitud y genera una señal que conmuta la salida de estado sólido a la posición “ON” (Encendido) y “OFF” (Apagado).

²⁶ Sensores de Proximidad Inductivo, Catalogo ALLEN-BRADLEY

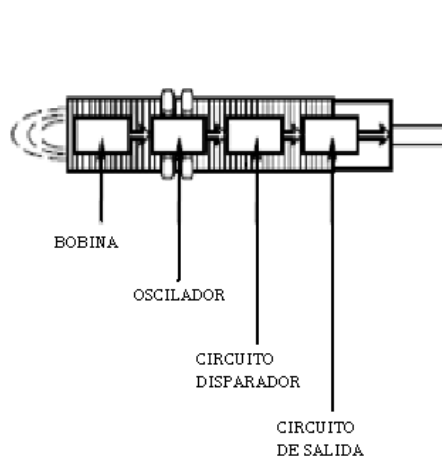


Figura N° 14

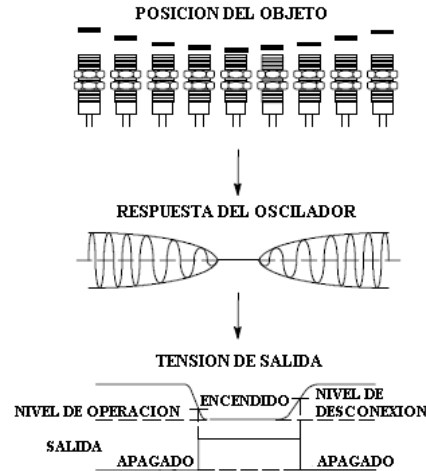


Figura N° 15

Cuando un objeto metálico que se aproxima a un sensor de proximidad inductivo (arriba) absorbe la energía generada por el oscilador. Cuando el objeto se halla próximo, la fuga de energía detiene el oscilador cambiando de estado la salida.

4.5.2 OBJETO ESTANDAR PARA SENSORES

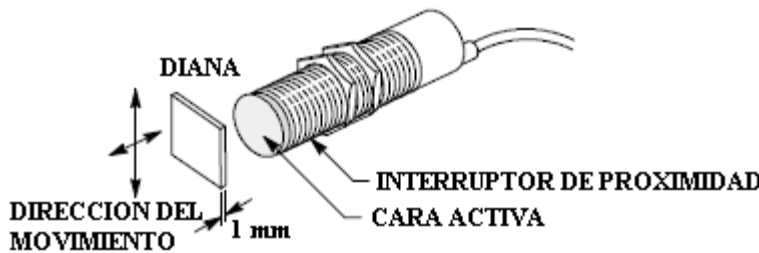


Figura N° 16

La cara activa de un sensor de proximidad inductivo es la superficie por la que emerge el campo electromagnético de alta frecuencia. Una diana estándar es un cuadrado de

acero, de 1 mm de grosor, con longitud lateral igual al diámetro de la cara activa ó 3X la distancia de conmutación nominal, el que sea mayor de los dos. El sensor debe captar las variaciones magnéticas producidas en el momento en que la diana pasa cerca al sensor.

4.5.3 FACTORES DE CORRECCION DEL OBJETIVO PARA SENSORES INDUCTIVOS DE PROXIMIDAD

Para determinar la distancia de detección para otros materiales diferentes al acero templado se utilizan factores de corrección. La composición del objeto a detectar influye en gran medida en la distancia de detección de los sensores de proximidad inductivos. Si se utiliza un objeto construido a base de alguno de los materiales que a continuación se listan,

multiplique la distancia nominal de detección por el factor de corrección listado para determinar la distancia nominal de detección real de dicho objeto. Tenga en cuenta que los sensores específicos de materiales férricos no detectarán hojalata (zinc + cobre), aluminio o cobre, mientras que los sensores específicos de materiales no férricos no detectarán acero ni aleaciones férricas inoxidables.

Los factores de corrección de la citada lista pueden utilizarse como guía general. Los materiales comunes y su factor de corrección específico aparecen listados en cada página de especificación del producto (Rango de sensibilidad nominal) x (Factor de corrección) = Rango de detección (ver tabla N° 6).

TABLA N° 6
FACTORES DE CORRECCION

MATERIAL ESPECIFICO	FACTOR DE CORRECCION APROXIMADO
Acero templado	1.0
Acero inoxidable	0.85
Latón	0.50
Aluminio	0.45
Cobre	0.40
Níquel	0.65...0.75
Hierro fundido	0.93...1.05

El tamaño y aspecto de los objetos a detectar también puede afectar a la distancia de detección:

- Los objetos planos son más deseables.
- Las formas redondeadas pueden reducir la distancia de detección.
- Los materiales no férricos reducen por lo general la distancia de detección en el caso de sensores para cuerpos metálicos en general.
- Los objetos de menor tamaño que la superficie de detección reducen usualmente la distancia de detección.

- Los objetos mayores que la superficie de detección pueden incrementar la distancia de detección.
- Los cuerpos laminares pueden incrementar la distancia de detección.

4.5.4 HISTERESIS (RECORRIDO DIFERENCIAL)

La diferencia entre los puntos de activación y relajación de un sensor se denomina histéresis o recorrido diferencial de éste. La distancia entre la posición de un objeto cuando se detecta y la posición del mismo cuando deja de estarlo ha de tenerse en cuenta al elegir la posición, tanto de los objetos a detectar como del sensor. La histéresis es necesaria para evitar fenómenos de rebote u oscilación (conmutación rápida entre estados) cuando el sensor se halla sometido a choques o vibraciones o cuando el objeto a detectar se halla

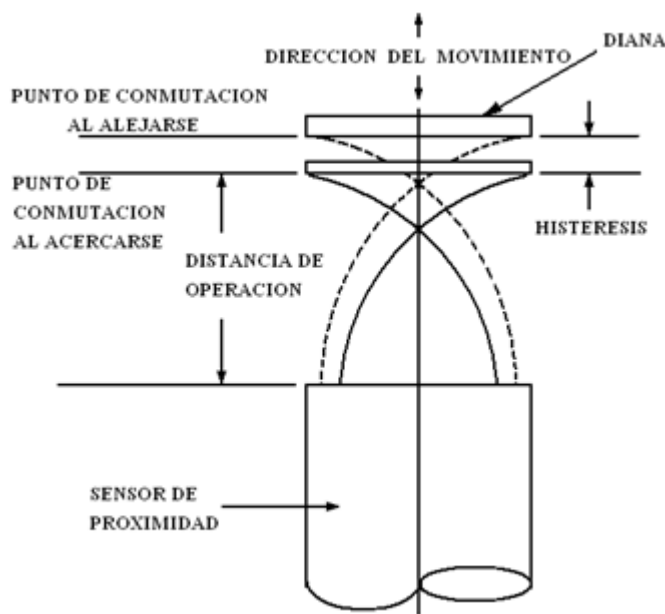


Figura N° 17

estacionario a la distancia nominal de detección. La amplitud de las vibraciones ha de ser menor que el recorrido de histéresis (banda de histéresis) para evitar fenómenos de rebote.

Existen diferentes tipos de sensores, de los cuales podemos mencionar los de dos hilos para tensiones de 110 o 220 VCA. Los de tres hilos se los usa con tensiones de alimentación de 12 o 24 VDC, y tienen un transistor con el colector

como tercer terminal al que se conecta la bobina de un relé; si el sensor es del tipo PNP entre el colector y negativo va conectada la bobina; si es del tipo NPN entre positivo y colector.

4.5.5 FRECUENCIA DE CONMUTACIÓN

Es la velocidad máxima a la que el sensor es capaz de entregar pulsos discretos individuales según el objeto entra y sale del campo de detección, depende del tamaño del

objeto, de la distancia de éste a la cara de detección, de su velocidad y del tipo de interruptor. Este valor indica el máximo número de operaciones de conmutación por segundo. El método de medición para determinar la frecuencia de conmutación con dianas estándares está especificado por IEC 60947-5-2. El valor asignado de la frecuencia de conmutación se ha alcanzado en uno de los siguientes casos:

- Si la señal de conexión $t_1 = 50 \mu s$
- Si la señal de desconexión $t_2 = 50 \mu s$

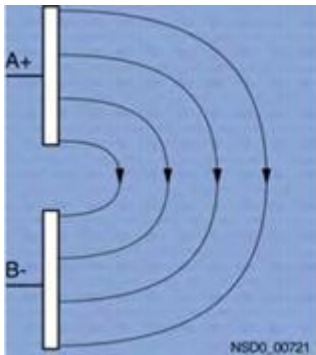


Figura N° 18

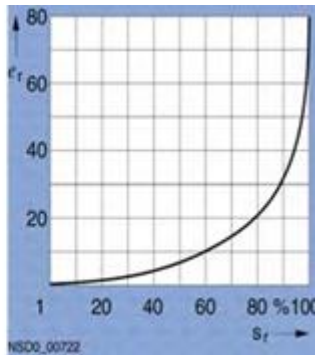


Figura N° 19

Debido a las condiciones de estabilización (transitorias) especiales, es posible que haya frecuencias de conmutación más altas para diferentes relaciones impulso-pausa²⁷.

4.5.6 FLUCTUACIÓN

La fluctuación es el voltaje alternante impuesto en el voltaje de CC (cresta a cresta) expresado en porcentaje. Para la operación de interruptores de voltaje de CC, se requiere de un voltaje de CC filtrado con una fluctuación máxima del 10% (de acuerdo a la norma DIN 41755).

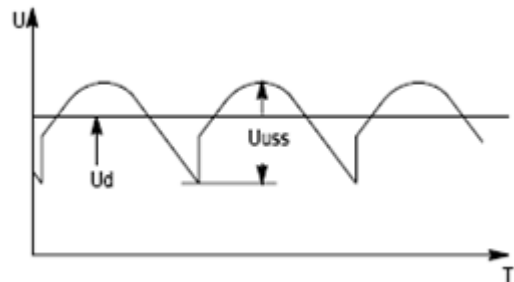


Figura N° 20

4.5.7 CONSIDERACIONES DE MONTAJE

La operación confiable depende de la fuerza del campo magnético y de la distancia entre la línea de corriente y el sensor.

²⁷ Sensores de Proximidad Inductiva – ALLEN BRADLEY- Catalogo.

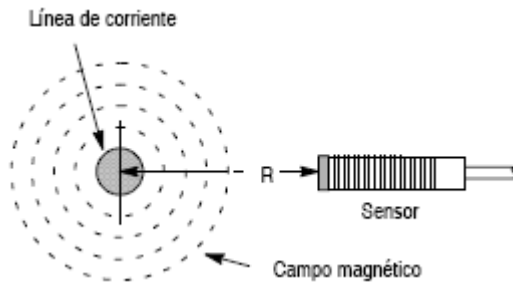


Figura N° 21
Montaje perpendicular a la línea de corriente

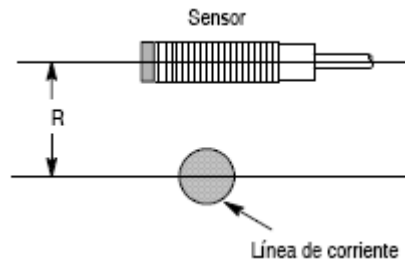


Figura N° 22
Montaje paralelo a la línea de corriente

Use las fórmulas o gráfica a continuación para determinar los requisitos de espacio entre la línea de corriente y el sensor de proximidad. Seleccione una distancia que esté dentro de la zona de seguridad.

$$H = I / (2\pi r)$$

$$B = H / 0.796$$

$$\text{Gauss} = 10 * B$$

Donde:

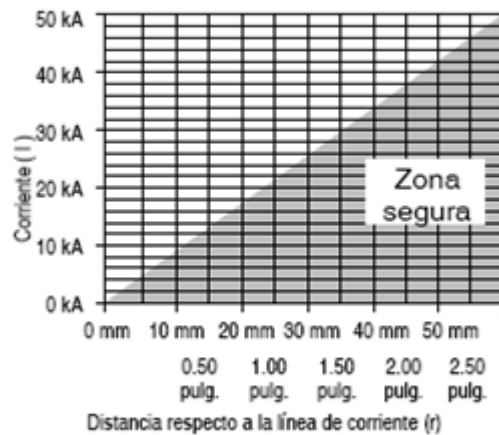
I = Corriente de soldadura (en kA).

H = Intensidad del campo (en kA/m).

B = Inducción magnética (en mT).

R = Distancia entre el sensor y las líneas que llevan corriente (en metros).

TABLA N° 7



Inmunidad a los efectos de campos de soldadura

4.6 CONTADOR DE PULSOS PROGRAMABLES

Un contador es un sistema secuencial conceptualmente muy simple: con cada pulso que recibe pasa de un estado al siguiente (cuenta el número de pulsos). Un contador módulo n presenta n estados (de 0 a n-1) y su evolución es circular: pasa de cada estado i al siguiente i+1 y del último n-1 al primero de ellos 0; su grafo de estados es un anillo, con una sola transición para cada estado (que le lleva al estado siguiente i+1).

A pesar de la sencillez de este comportamiento funcional, los contadores son extraordinariamente útiles en el diseño de sistemas digitales de medida y de control. Esta sección presenta los contadores como sistema secuencial de propósito particular: contar pulsos y dividir frecuencias; el próximo extenderá el ámbito de sus aplicaciones: medida y multiplexado de tiempos; medida y control de frecuencias; PWM.

El propio contaje directo de unidades, además de la información sobre número de objetos, personas o sucesos, permite el control de dicho número; por ejemplo, controlar el número de objetos a insertar en un envase, el número máximo de personas presentes en un recinto. Y la división de frecuencias, consecuencia directa del contaje de sus pulsos, ofrece la posibilidad de disminuir la frecuencia de las señales y aumentar la unidad temporal que señalan sus períodos.

Un aspecto de interés es la conexión de contadores para conformar otros más grandes, así como la posibilidad de respetar la codificación BCD para mantener la estructura de nuestros números decimales (base 10). La gran utilidad de los contadores se traduce en la disponibilidad de una amplia variedad de los mismos, entre los que se cuentan los contadores «descendentes» (que descuentan) y los contadores «bidireccionales».

Contar pulsos puede parecer algo muy simple pero, en la práctica, tiene muchas aplicaciones. Los contadores son sumamente útiles en la realización de sistemas digitales, siendo el núcleo básico de muchos de ellos, como es el caso de relojes, temporizadores, frecuencímetros, dispositivos de sincronización,... y de un amplio número de sistemas de control y de medida. Pocos son los sistemas digitales en los que no se encuentren presentes diversos contadores, realizando operaciones variadas.

Si el período de los pulsos es fijo y preciso, tal período conforma una unidad de tiempo cuyo contaje da lugar a relojes, cronómetros y temporizadores, así como a la distribución del tiempo en partes sucesivas para el control de procesos. Asimismo, contar pulsos en una unidad de tiempo equivale a medir la frecuencia de la señal y, con ella, la velocidad de motores (revoluciones por minuto), la velocidad de bicicletas y automóviles, el valor de una variable codificada en frecuencia,... Además, los contadores permiten configurar controles de tipo todo/nada en que cada período de tiempo resulta dividido en

dos intervalos activo/inactivo. El resultado de este control *on/off* es una modulación de la anchura de pulsos con aplicaciones en control de potencia, conversión número-tensión (convertidores digital-analógicos), convertidores tensión-tiempo y tensión-número (analógico-digitales), control de amplitud de señales (potenciómetros digitales)...

Un componente básico de los procesadores en los sistemas digitales que actúan bajo programa (computadores, microprocesadores, etc.) es el contador central o contador de programa, que señala la dirección de la instrucción a ejecutar y, una vez ejecutada la misma, pasa a la siguiente instrucción. Este contador ha de disponer de la posibilidad de carga paralelo a fin de poder efectuar saltos en el programa para atender a instrucciones condicionales, a subrutinas y a interrupciones.

4.6.1 CONTADORES COMPLEJOS

Dada la utilidad que los contadores ofrecen para la realización de sistemas digitales existe una amplia disponibilidad de tipos diferenciados; algunos, con prestaciones muy complejas como veremos a continuación.

Un tipo de *contadores para división de frecuencias (rate multipliers)* actúa de forma que, de cada **m** pulsos que llegan a su entrada, permite el paso de un número **n** de ellos (**n < m**), programable en sus entradas de control, de forma que realiza un cambio de frecuencia según el factor **n / m**.

Asimismo, orientados a la división de frecuencias y a la temporización, existen contadores descendentes (*down*) programables a través de sus entradas paralelo (carga síncrona) y dotados de una salida que se activa cuando el contador se encuentra a cero.

Conectando la salida indicadora de estado cero a la habilitación de entradas paralelo se obtiene un divisor de frecuencia por **n+1**: tras alcanzarse su valor mínimo (**0**) el contador pasa al valor **n** programado en tales entradas.

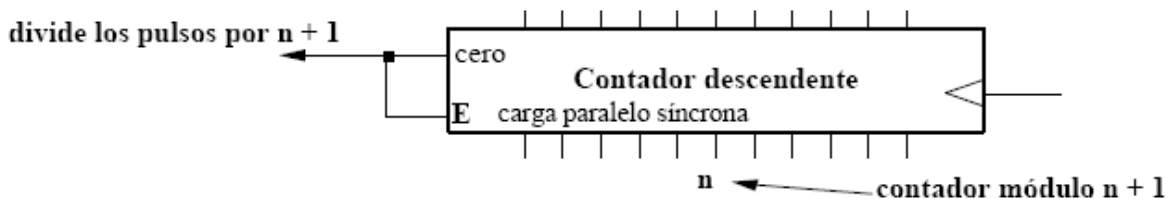


Figura N° 23

En cambio, cargando inicialmente el valor n y aprovechando el intervalo de «descontaje» desde n hasta alcanzar el estado 0 se consigue un temporizador; la salida indicadora de cero señala el final del intervalo de temporización.

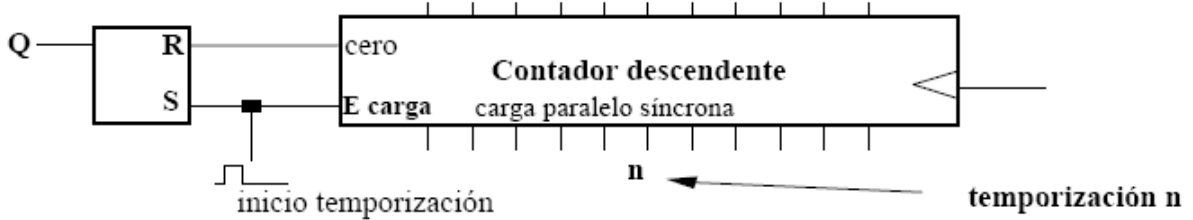


Figura N° 24

Existen integrados conteniendo varias décadas, cuyas salidas son multiplexadas sobre las mismas cuatro líneas BCD, de forma que presentan sucesivamente una a una las

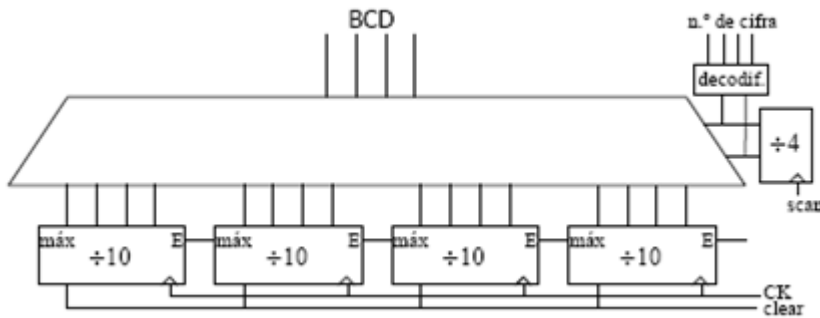


Figura N° 25

cifras decimales. El mismo bloque suele incluir el multiplexor y el correspondiente contador de control del mismo, recibiendo la frecuencia deseada para el multiplexado a través

de pulsos por una entrada de muestreo (SCAN) o mediante un oscilador con un simple condensador exterior que determina la frecuencia de muestreo.

Un paso más consiste en incluir un registro de retención que reciba las cifras de los contadores BCD, siendo en este caso las salidas del registro las que

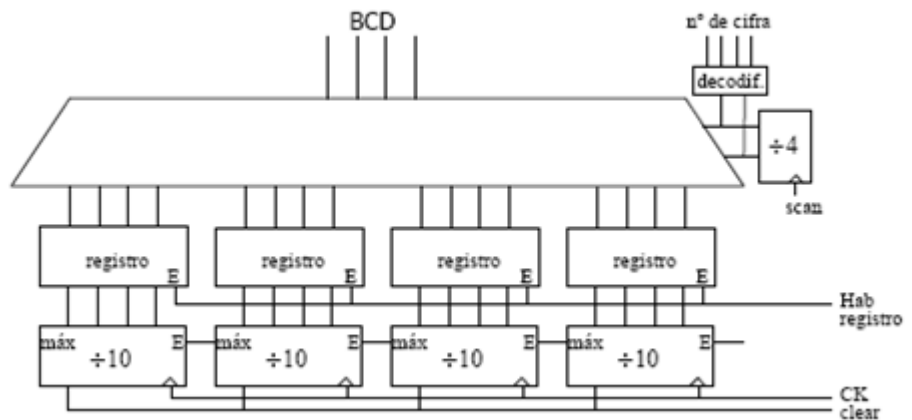


Figura n° 26

se multiplexan sobre los cuatro terminales de salida; ello permite utilizar directamente tal integrado en aplicaciones más complejas que el simple contaje, siendo muy apropiado para la medida de frecuencias o de períodos.

4.6.2 CONTADORES UNIVERSALES

El desarrollo de esta línea de creciente complejidad y potencia de cálculo ha culminado en el concepto de *contador universal*:

- Un contador suficientemente amplio (por ejemplo, de 6 décadas), bidireccional, con posibilidad de carga paralelo multiplexada (de forma que cada vez se almacena una de las cifras BCD), con salidas indicadoras de que se encuentra en su valor máximo y en su valor mínimo (0), junto con las correspondientes entradas de borrado e inhibición.
- Un registro de retención conectado a la salida del contador, con salidas multiplexadas cifra a cifra sobre cuatro terminales BCD y, a la vez, decodificadas en 7 segmentos para atacar directamente a un visualizador (en representación dinámica).
- Un segundo registro de retención programable exteriormente en forma multiplexada análoga a la del contador y cuyo contenido se compara aritméticamente con el del contador de forma que una salida exterior indica la igualdad entre ambos.
- Y el sistema de multiplexado necesario para la salida de las cifras del primer registro y para la programación del contador y del segundo registro; la velocidad de muestreo se fija mediante una señal externa y 6 líneas individuales indican cuál de las cifras BCD se encuentra activa en cada momento.

La figura siguiente es un posible esquema de bloques de un «contador universal»; una aplicación directa es el diseño de frecuencímetros o temporizadores para lo cual se requiere añadir muy poca circuitería adicional.

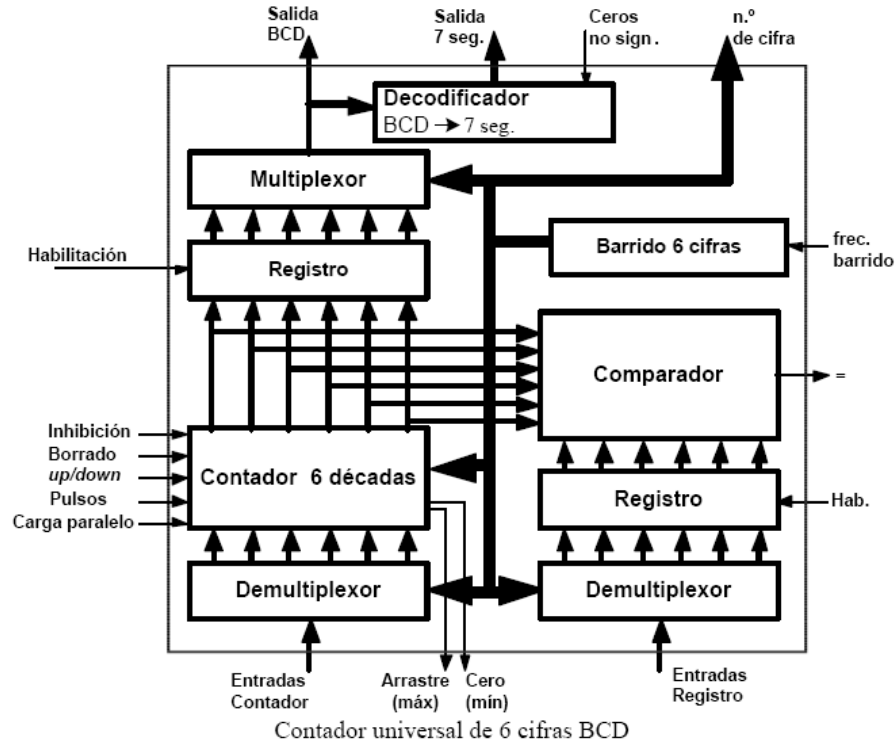


Figura N° 27

4.6.3 CONTAJE DE PULSOS DIFERENTES DEL RELOJ

No basta con que los contadores sean síncronos, también hay que asegurar que su utilización (o sea, su conexión con el resto de las partes del circuito) se hace en forma síncrona. Si, por ejemplo, un contador recibe en su entrada de pulsos (entrada que actúa por flancos) cualquier señal diferente del propio reloj del sistema se pierde el sincronismo, ya que el contador cambiará su estado según el flanco activo de esa señal y no con referencia al flanco activo del reloj. Lo mismo sucede si se producen borrados asíncronos del contador (por entradas del tipo *Clear* o *Reset*).

El reloj central de un sistema secuencial síncrono es la única señal que actúa «por flancos»; cualquier otra señal debe actuar por niveles booleanos **0** y **1**. En tal sentido, cuando se desea contar pulsos diferentes a los propios de la señal de reloj, ha de transformarse el correspondiente flanco de los mismos (generalmente el de bajada, con el cual finaliza el pulso) en un pequeño pulso coincidente con una unidad de tiempo del reloj central y habilitar con dicho pulso el conteo del contador síncrono, cuyo reloj seguirá siendo el propio del sistema secuencial global.

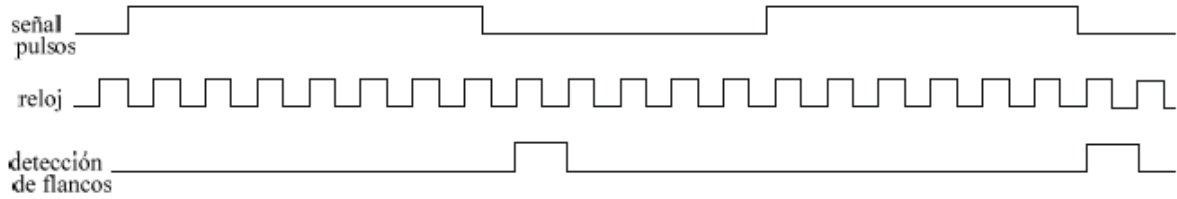


Figura N° 28

La señal resultante de la detección de flancos está sincronizada con el reloj, tiene la misma frecuencia que la señal de pulsos (un pulso por cada uno de entrada) pero su «tiempo en 1» coincide con una unidad de tiempo del reloj; de esta forma, solamente habilita una vez (coincidiendo con el reloj) por cada pulso que se desea contar. Esta señal es del tipo de las ondas de temporización que trataremos a continuación.

El esquema necesario para detectar un flanco de bajada de un pulso cualquiera (de mayor duración que la unidad de tiempo del reloj central) y transformar dicho flanco en un nivel activo 1, cuya duración coincida con una unidad de tiempo, es simple: dos biestables sucesivos, formando un reducido registro de desplazamiento, que detecten la secuencia 10 (en una bajada el valor anterior del pulso será 1 y el siguiente valor del pulso será 0).

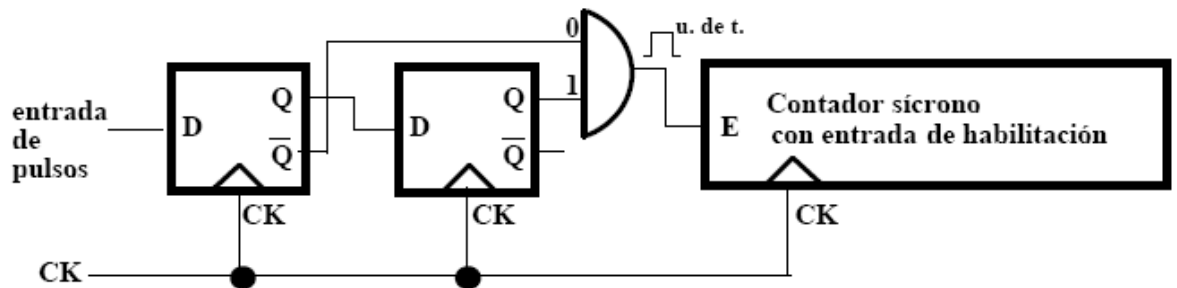
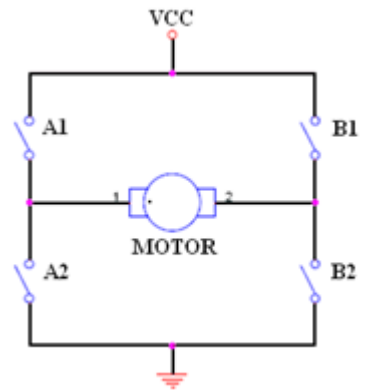


Figura N° 29

Cuenta los pulsos ingresados por la entrada correspondiente y al llegar a la cuenta prefijada: borra el contador, comienza una nueva cuenta y activa el relé de salida durante unos milisegundos, los pulsos obtenidos en el relé son los pulsos ingresados divididos por el factor de escala. Al energizar el equipo comienza una nueva cuenta de pulsos. Un pulsador NA exterior conectado a la entrada de reset permite llevar a cero la cuenta en curso en cualquier momento. Puentes removibles interiores permiten seleccionar el factor de división (cuenta prefijada) en el rango 1 a 9999 pulsos. Existen 4 grupos de puentes para realizar esta selección en código BCD, (unidades, decenas, centenas y unidades de mil).

4.7 PUENTE H

Es un conjunto de conexiones dotado de interruptores, que tienen la finalidad de invertir la polaridad de la corriente que alimenta al motor, para poder de esta manera controlar los sentidos de giro, marcha y parada del motor DC.



En la figura, se muestra un pequeño esquema de la conexión de los interruptores del puente H. Adaptable directamente a un motor. En este trabajo se ha reemplazado el motor por dos relés que accionan al motor²⁸.

Figura N° 30

TABLA DE VERDAD

TABLA N° 8

ESTADO	A1	A2	B1	B2
Parado	0	0	1	1
Parado	1	1	0	0
Izquierda	1	0	0	1
Derecha	0	1	1	0

Para evitar el cortocircuito se dispone de compuertas inversoras.

El nombre de puente H surge, obviamente de la posición de los transistores, en una distribución que recuerda la letra H, esta configuración es sin duda una de las más utilizadas en el control de motores de CC, cuando es necesario que se pueda invertir el sentido de giro del motor.

²⁸ Control e implementación en tiempo real de un brazo robot antropomórfico en entorno Matlab/Simulink, (fuente internet).

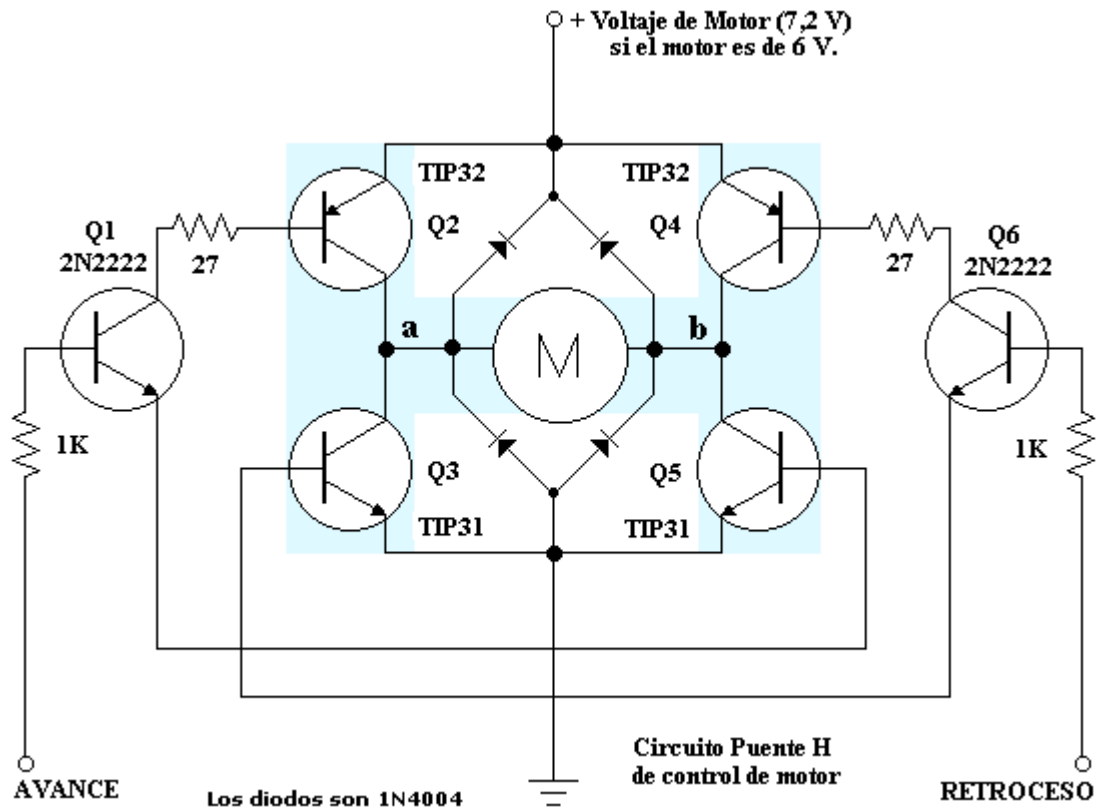


Figura N° 31

4.7.1 FUNCIONAMIENTO

Aplicando una señal positiva en la entrada marcada AVANCE se hace conducir al transistor Q1. La corriente de Q1 circula por las bases, de Q2 y Q5, haciendo que el terminal a del motor reciba un positivo y el terminal b el negativo (tierra).

Si en cambio se aplica señal en la entrada RETROCESO, se hace conducir al transistor Q6, que cierra su corriente por las bases, de Q4 y Q3. En este caso se aplica el positivo al terminal b del motor y el negativo (tierra) al terminal a del motor.

Es muy importante tomar en cuenta que las señales que se emiten mediante las terminales de avance y retroceso no deben coincidir, caso contrario. Si esto ocurre los transistores, Q2, Q3, Q4 y Q5 cerrarán circuito directamente entre el positivo de la fuente de alimentación y tierra, sin pasar por el motor, de modo que es seguro que se excederá la capacidad de corriente Emisor-Colector y los transistores, se dañarán para siempre. Y si la fuente no posee protección, también podrá sufrir importantes daños. Al efecto existen

varias formas de asegurarse de esto, utilizando circuitos que impiden esta situación (llamados "de interlock"), generalmente digitales, basados en compuertas lógicas

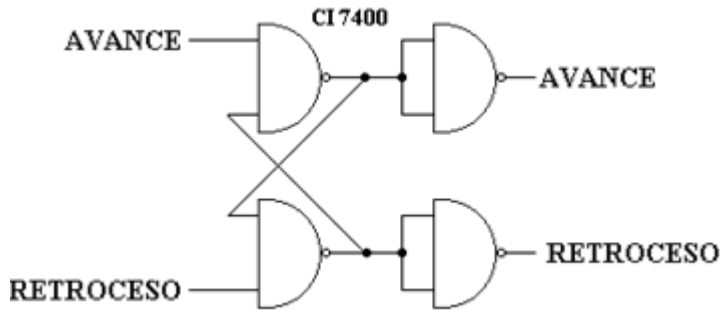


Figura N° 32

Otra opción de Puente H y circuito de interlock, con la ventaja de que utiliza menos transistores, (tipo Darlington en este caso) y de tener un circuito de interlock aún más seguro. En el circuito anterior, si se presentan las dos señales activas

simultáneamente se habilita uno de los sentidos de marcha, sin que se pueda prever cuál será. Si las señales llegan con una leve diferencia de tiempo, se habilita la orden que ha llegado primero, pero si ambas señales llegan al mismo tiempo no se puede prever cuál comando (AVANCE o RETROCESO) será habilitado. En la figura # 33 no se habilita ninguno:

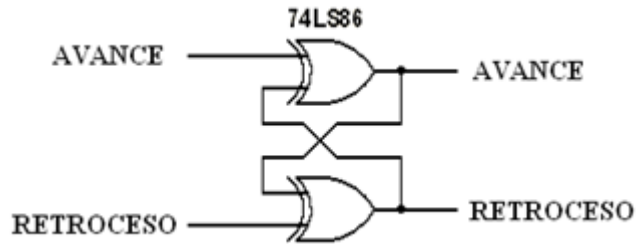


Figura N° 33

4.7.2 CIRCUITOS INTEGRADOS EN PUENTE H

Este chip es el integrado L293D que incluye cuatro circuitos para manejar cargas de potencia media, en especial pequeños motores y cargas inductivas, con la capacidad de controlar corriente hasta 600 mA en cada circuito y una tensión entre 4,5 V a 36 V (ver ANEXO 4).



Figura N 34

Entre las características más interesantes del L293D se encuentran la protección contra temperaturas elevadas, la alta inmunidad al ruido, la alimentación separada de las cargas y la capacidad de proporcionar una corriente de salida de 1 A por canal²⁹.

Además posee otro canal, por lo que puede gobernar simultáneamente la marcha de dos motores.

El integrado permite formar dos puentes H completos, con los que se puede realizar el manejo de dos motores. En este caso el manejo será bidireccional, con frenado rápido y con posibilidad de implementar fácilmente el control de velocidad (ver ANEXOS 4).

A continuación mostramos un esquema del detalle de los circuitos internos del integrado.

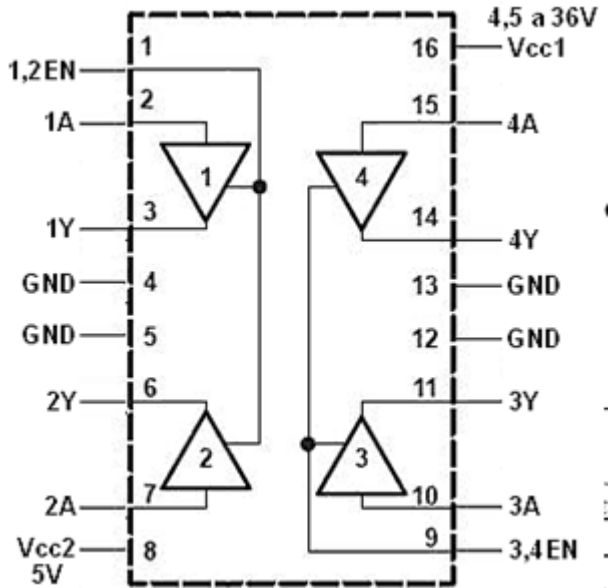


Figura N° 35
Diagrama de pines

Las salidas tienen un diseño que permite el manejo directo de cargas inductivas tales como relés, solenoides, motores de corriente continua y motores por pasos, ya que incorpora internamente los diodos de protección de contracorriente para cargas inductivas.

Por medio de un control apropiado de las señales de entrada y conectando el motor a sendas salidas de potencia, cada par de circuito de manejo de potencia conforma un puente H completo, como se ve en el diagrama.

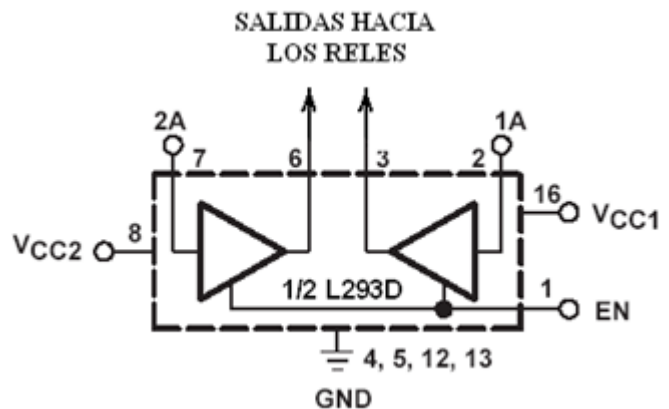


Figura N° 36

²⁹ ar.groups.yahoo.com (fuente internet).

En la figura # 36 podemos observar el circuito en forma de puente H para control bidireccional del motor. Aclaramos que este diagrama conforma solamente las partes esenciales de conexión, razón por la cual no aparecen los demás pines del CI.

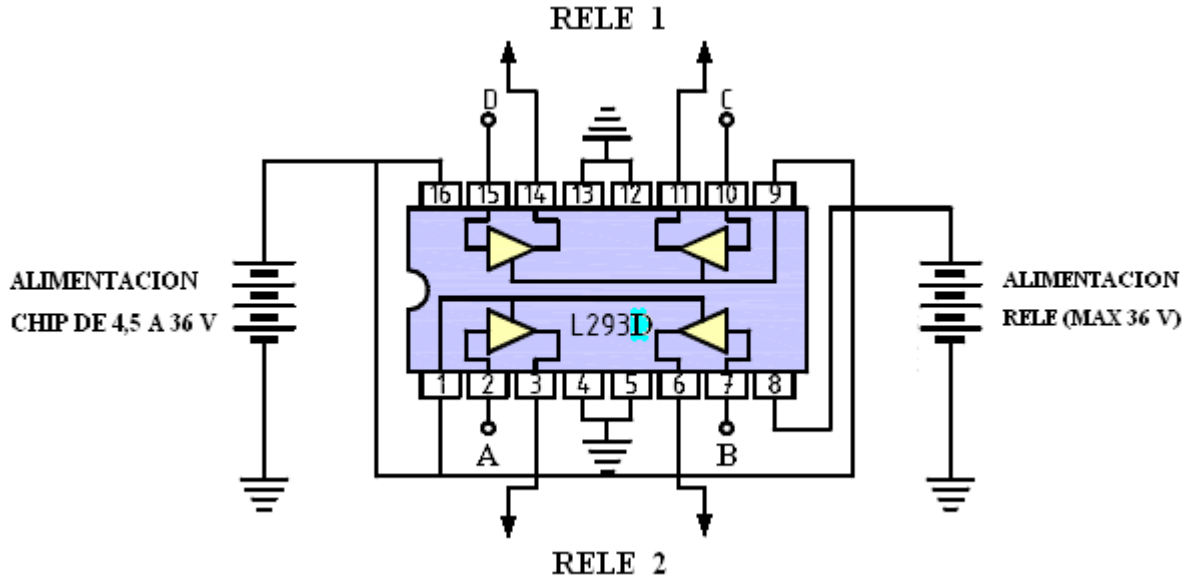


Figura N° 37

Esquema de conexionado para activar los relés. Se puede observar que las señales emitidas por el integrado deben pasar primero por el amplificador, después a los relés.

TABLA N° 9

A	B	M1	C	D	M2
0	0	PARO	0	0	PARO
1	1	PARO	1	1	PARO
0	1	IZQUIERDA	0	1	IZQUIERDA
1	0	DERECHA	1	0	DERECHA

Tabla de manejo del circuito puente H

protección que evita los daños producidos por los picos de voltaje que puede producir el motor.

Existe una variedad de circuitos integrados que pueden reemplazar al L293D, uno de ellos es el integrado L293B. La diferencia entre el modelo L293D y L293B, es que el primero viene con diodos de

Si se quiere utilizar el integrado L293B se debe tener en cuenta que este integrado no tiene protección interna para cambios de sentido de corriente. Entonces para evitar

posibles picos de corriente inversa cuando se arranca el motor, se recomienda conectar unos diodos tal y como se muestra a continuación.

Circuito de protección para el L293B para evitar sobre corrientes inversas al arrancar el motor.

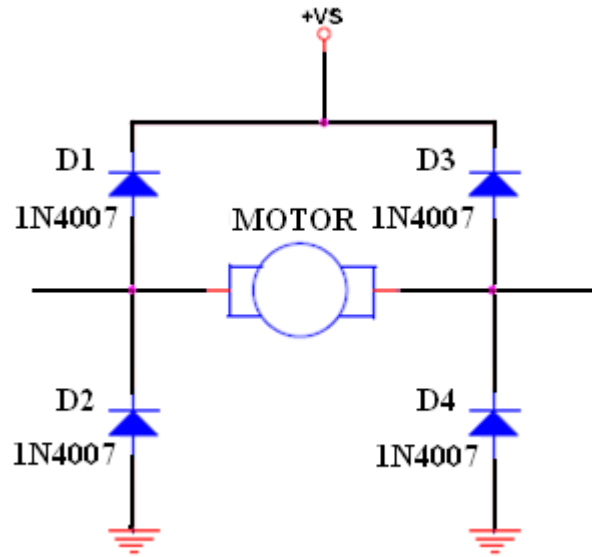


Figura N° 38

4.8 LOS RELES

Es un dispositivo que consta de dos circuitos diferentes: un circuito electromagnético (electroimán) y un circuito de contactos, al cual aplicaremos el circuito que queremos controlar.

Los relés se caracterizan por dos factores: el voltaje necesario para activar la bobina, y el voltaje que pueden soportar entre los dos puntos de conexión.

La alternativa más barata y más sencilla para manejar un motor pasa por el uso de un interruptor controlado eléctricamente. La salida de un microprocesador no tiene la suficiente potencia como para hacer girar un motor. El relé permite conectar de forma directa el motor a una fuente de alimentación. Una ventaja de utilizar relés es la facilidad de su uso.

En la siguiente figura se puede ver su simbología así como su constitución (relé de armadura).

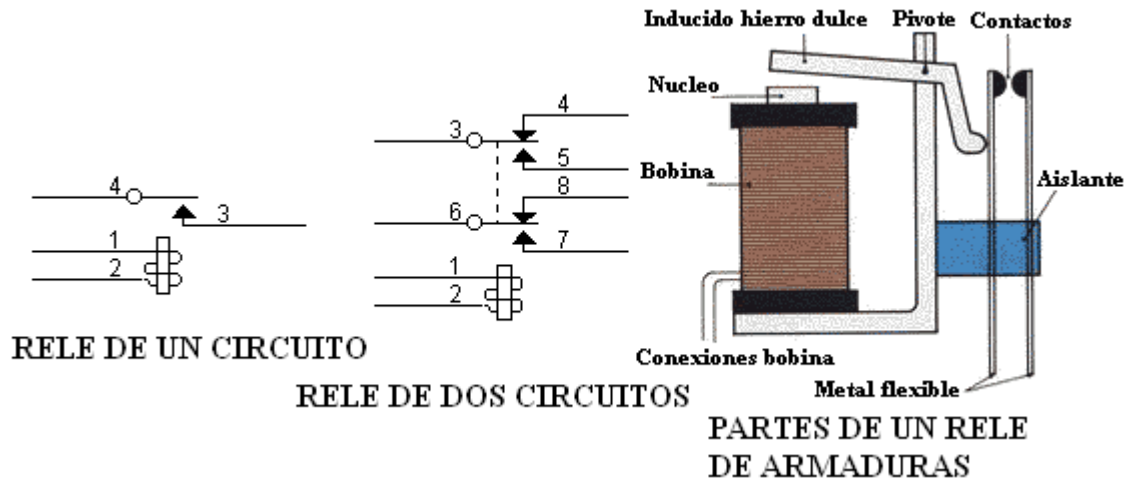


Figura N° 39

Su funcionamiento se basa en el fenómeno electromagnético. Cuando la corriente atraviesa la bobina, produce un campo magnético que magnetiza un núcleo de hierro dulce (ferrita). Este atrae al inducido que fuerza a los contactos a tocarse. Cuando la corriente se desconecta vuelven a separarse. Los símbolos que aparecen en las figuras poseen solo 1 y dos circuitos, pero existen relés con un mayor número de ellos.

4.8.1 CARACTERISTICAS TECNICAS

a). Parte electromagnética

- **Corriente de excitación.**- Intensidad, que circula por la bobina, necesaria para activar el relé.
- **Tensión nominal.**- Tensión de trabajo para la cual el relé se activa.
- **Tensión de trabajo.**- Margen entre la tensión mínima y máxima, garantizando el funcionamiento correcto del dispositivo.
- **Consumo nominal de la bobina.**- Potencia que consume la bobina cuando el relé está excitado con la tensión nominal a 20°C.

b). Contactos ó parte mecánica

- **Tensión de conexión.**- Tensión entre contactos antes de cerrar o después de abrir.

- **Intensidad de conexión.-** Intensidad máxima que un relé puede conectar o desconectarlo.
- **Intensidad máxima de trabajo.-** Intensidad máxima que puede circular por los contactos cuando se han cerrado.

Los materiales con los que se fabrican los contactos son: plata y aleaciones de plata que pueden ser con cobre, níquel u óxido de cadmio. El uso del material que se elija en su fabricación dependerá de su aplicación y vida útil necesaria de los mismos.

4.8.2 RELES MAS UTILIZADOS

a). De armadura

El electroimán hace vascular la armadura al ser excitada, cerrando los contactos dependiendo de si es normalmente abierto o normalmente cerrado.

b). De núcleo móvil

Tienen un émbolo en lugar de la armadura. Se utiliza un solenoide para cerrar los contactos. Se suele aplicar cuando hay que manejar grandes intensidades (ver variedad de relés en ANEXO 5).

Las aplicaciones de este tipo de componentes son múltiples: en electricidad, en automatismos eléctricos, control de motores industriales; en electrónica: sirven básicamente para manejar tensiones y corrientes superiores a los del circuito propiamente dicho, se utilizan como interfaces para PC, en interruptores crepusculares, en alarmas, en amplificadores...

4.9 CONTROL DEL MOTOR DC

Cuando una corriente eléctrica pasa a través de un hilo conductor dentro de un campo magnético se generan unas fuerzas magnéticas que producen un par de fuerzas que hace mover el motor. Si cambia el sentido de la corriente, cambiara el sentido de giro del motor. Existe una relación entre la corriente que pasa por el devanado y la fuerza generada.

Además se da el hecho de que a mayor tensión de alimentación mayor será la

velocidad de giro del motor.

Existirá una tensión crítica a partir de la cual el motor comenzara a girar y una tensión nominal (y máxima) de funcionamiento con par máximo.

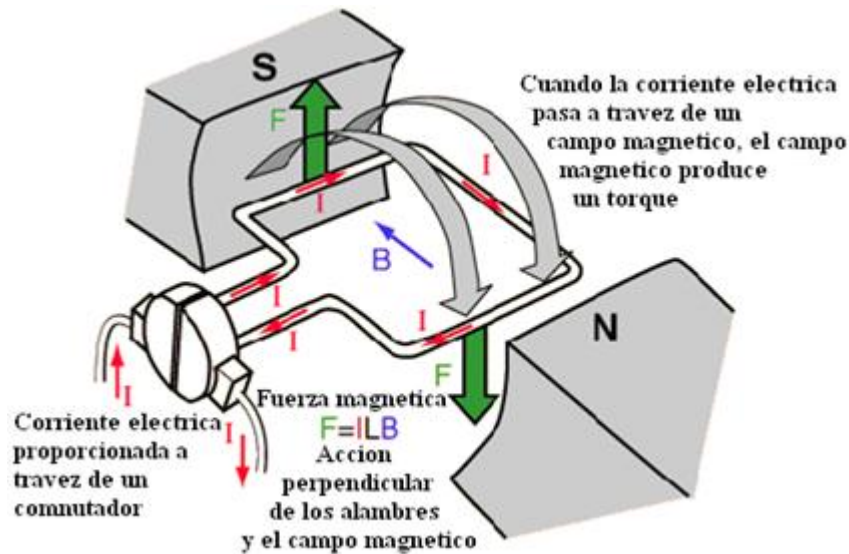


Figura N° 40
Esquema de funcionamiento de los motores de corriente continua

4.9.1 CONTROL DE LA MARCHA Y PARO EN UN SOLO SENTIDO

a) Mediante relés:

En este circuito se pueden distinguir dos partes: la parte de mando, representada mediante línea fina y la parte de fuerza, dibujada con trazo grueso. La parte de mando está compuesta por un circuito de control que gobierna un relé. Este circuito

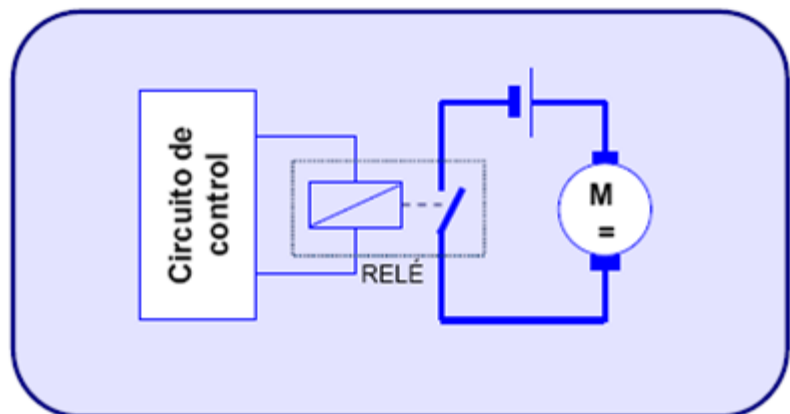


Figura N° 41

de control puede ser manual (pulsador, interruptor, etc.) o automático (circuito electrónico con sensores, temporizadores etc.)³⁰.

b) Mediante un transistor de mediana potencia:

En este caso la conexión del motor la realiza un transistor adecuado a la potencia del motor. Este montaje también permite la regulación de la velocidad mediante un ajustable que regula la corriente de base del transistor.

4.9.2 CONTROL DEL SENTIDO DE GIRO

Para invertir el sentido de la marcha de un motor de corriente continua, es necesario invertir el sentido de la corriente que circula por su inducido. Esto se consigue invirtiendo la polaridad aplicada a sus terminales, lo cual se puede realizar manualmente, usando dos conmutadores de tres salidas accionados al unísono, o haciendo uso de los circuitos que se indican a continuación:

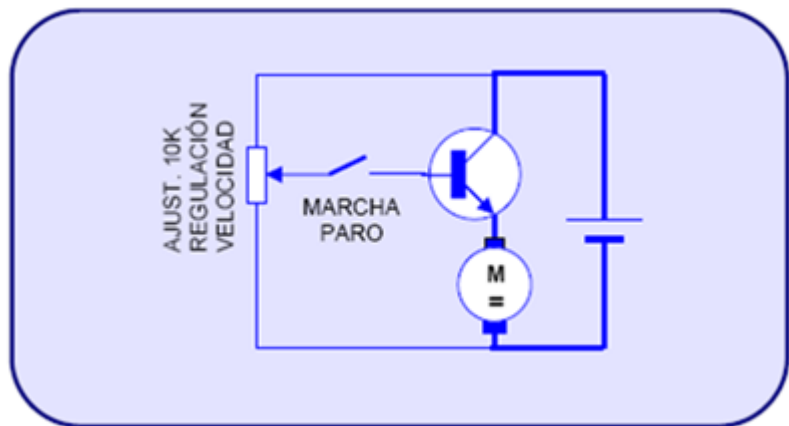


Figura nº 42

a) Usando un relé de dos contactos conmutados:

El sentido de marcha se controla mediante un interruptor en serie con la bobina del relé. Si el interruptor está abierto, el relé no está excitado por lo que el positivo de la pila llegará al terminal superior del motor, por lo que girará

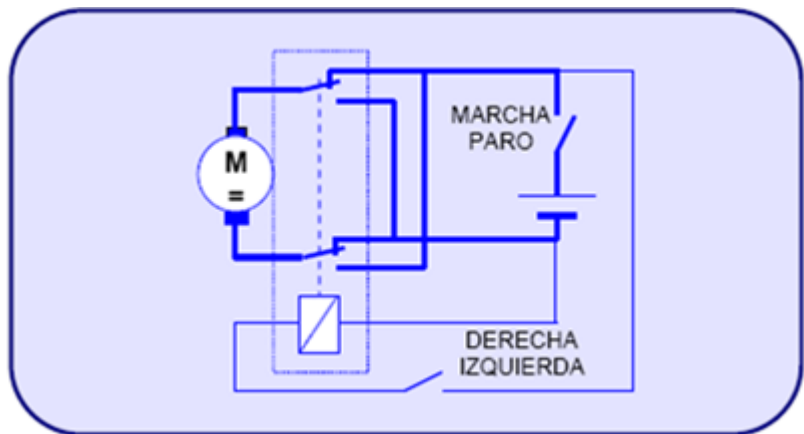


Figura Nº 43

³⁰ INTRODUCCION A LA ELECTRONICA, Carlos de la Rosa Sánchez, (www.tecnologiaseso.es)

en un sentido determinado. Si accionamos el interruptor el interruptor, el relé se excita e invierte la polaridad que llega al motor. El interruptor de marcha paro es necesario para evitar que el motor esté girando siempre.

4.10 REDUCTOR DE VELOCIDAD



Es una máquina que viene acoplada al motor, con la finalidad de adaptar la velocidad de dicho motor a una velocidad necesaria para su funcionamiento. Además de esta adaptación de velocidad, se deben contemplar otros factores como la potencia mecánica a transmitir, la potencia térmica, rendimientos mecánicos (estáticos y dinámicos).

Esta adaptación se realiza generalmente con uno o varios pares de engranajes que adaptan la velocidad y potencia mecánica montados en un cuerpo compacto denominado reductor de velocidad aunque en algunos países hispanos parlantes también se le denomina caja reductora. (Ver datos técnicos de una variedad de motorreductores en ANEXO # 11)

Figura N° 44

Los reductores se clasifican según la tipología de sus engranajes en: sin fin-corona, engranajes y planetarios. Según la posición relativa del eje lento del reductor con respecto al eje rápido del mismo, las clasificaciones más usuales son; paralelas, ortogonales y coaxiales. Los reductores también se pueden clasificar por su sistema de fijación, fijo o pendular.

La fabricación o selección de un reductor de velocidad es algo sumamente complejo en algunas ocasiones dada la gran cantidad de parámetros a tener en cuenta. Los principales son:

- El par motor, es la potencia que puede transmitir un motor en cada giro. También llamado "Torque".

$$P = C \times \omega$$

- El par nominal, es el par transmisible por el reductor de velocidad con una carga uniforme y continua; está íntimamente relacionado con la velocidad de entrada y la velocidad de salida. Su unidad en el SI es el N m (newton metro).
- El par resistente, representa el par requerido para el correcto funcionamiento de la máquina a la que el reductor de velocidad va a ser acoplado. Su unidad en el SI es el N m.
- El par de cálculo, es el producto del par resistente y el factor de servicio requerido por la máquina a la que el reductor de velocidad va a ser acoplado. Su unidad en SI es N m.
- La potencia, expresada normalmente en kw (kilovatios) la potencia eléctrica es considerada en dos niveles distintos: la potencia eléctrica aplicada y la potencia útil; esta última es el producto de la potencia aplicada al ser multiplicado por cada uno de los rendimientos de cada par de engranajes del reductor de velocidad.
- La potencia térmica, donde los rendimientos de los trenes de engranajes tienen una pérdida de potencia en forma de calor que tiene que ser disipada por el cuerpo de los reductores de velocidad. Puede ocurrir que la potencia transmisible mecánicamente provoque un calor en el reductor de velocidad a unos niveles que impiden su funcionamiento normal. La potencia térmica, expresada en kw, indica la potencia eléctrica aplicada en el eje rápido del reductor de velocidad que este es capaz de transmitir sin limitación térmica.³¹

³¹ Obtenido de "[http://es.wikipedia.org/wiki/Reductores de velocidad](http://es.wikipedia.org/wiki/Reductores_de_velocidad)"

CAPITULO V

INGENIERIA DEL PROYECTO

5.1 INTRODUCCION

Como parte introductoria daremos una mirada hacia los límites del horizonte de este capítulo, con la intención de dar a conocer un resumen de los diferentes parámetros y adaptaciones que se toman en cuenta para tener una visión clara y objetiva de lo que se pretende mostrar.

Se toma como referencia inicial el movimiento de rotación del eje de la turbina, que es el lugar donde precisamente se presentan las notables variaciones de velocidad ocasionadas por la demanda de carga que se exige al sistema.

Alrededor de este eje se instala un sensor inductivo, que se encarga de captar los movimientos rotacionales que luego son convertidas en otro tipo de señal, muy similar a un micrófono que convierte un tipo de energía como vibración o sonido en un tipo diferente de energía, generalmente una corriente eléctrica o un voltaje. Se sugiere conectar al eje un mecanismo de reducción de velocidad, que pueda estar conectada mediante una brida, etc., en el mercado se puede encontrar una amplia gama de productos para este fin con la finalidad de bajar la velocidad de rotación del eje de la turbina, para que este movimiento sea más apto y adecuado para que el sensor llegue a captar las variaciones sin dificultad alguna y de forma mas segura.

El receptor de estas señales es un contador, que tiene la finalidad de contar los pulsos originados por las revoluciones del eje de la turbina. El número de revoluciones, es de 1500 rpm., aunque esta cantidad de revoluciones, como ya sabemos, puede variar, siempre dependiendo del número de pares de polos que lleva el generador. A esta velocidad el generador genera los 50 Hz adecuados y necesarios establecidos según la ley de la electricidad en nuestro país.

El contador, al detectar las variaciones de pulsos, las clasifica en tres tipos de señales, que luego las transmite hacia un sistema electrónico de puente H. Las señales que emite el contador se activan según va variando la velocidad del eje, es decir si la velocidad está en un régimen estable, entonces se emite una señal de parada; cuando la velocidad esta baja, se emite otra señal que activa el motor en una dirección para que el alabe de la turbina se pueda abrir y que deje pasar más líquido; finalmente si la velocidad en el eje es superior a lo que se ha establecido, entonces se activa otra señal para que el motor pueda accionar el alabe para su cierre, hasta llegar a la velocidad establecida.

El puente H se encarga de producir el efecto de las inversiones de sentido de flujo de corriente y las paradas, para que luego estas señales sean amplificadas en corriente y puedan accionar los relés que finalmente actúan como llaves o interruptores de alimentación hacia el motor (motorreductor).

El motorreductor DC al ser alimentado, transmite su movimiento de rotación a un reductor de velocidad, con la intención de reducir la velocidad y ganar mayor potencia para que con este par de movimiento, se pueda accionar el alabe regulador de caudal de la turbina, que en nuestro caso es el del tipo Mitchel Banky.

Tomamos siempre como referencia y a manera de precaución, el tiempo de cierre y apertura de la válvula (aproximadamente de 6 segundos), que es el tiempo aproximado para evitar la presencia del golpe de ariete. Aunque sabemos que esta anomalía se presenta más en tuberías con válvula de paso antes del ingreso del líquido hacia las turbinas, y que en nuestro caso no hablamos de tubería sino de la misma turbina y su alabe regulador; Además de que nuestra intención no es cerrar o abrir totalmente el paso del líquido, sino en forma parcial hasta que se logre estabilizar las variaciones de velocidad del rodete de la turbina.

En la figura N° 45, mostramos un esquema general de la adaptación de los diferentes mecanismos de transmisión de lo que se pretende mostrar en este trabajo, donde también se incluye el sistema de alimentación que corresponde a los sistemas de control y de fuerza.

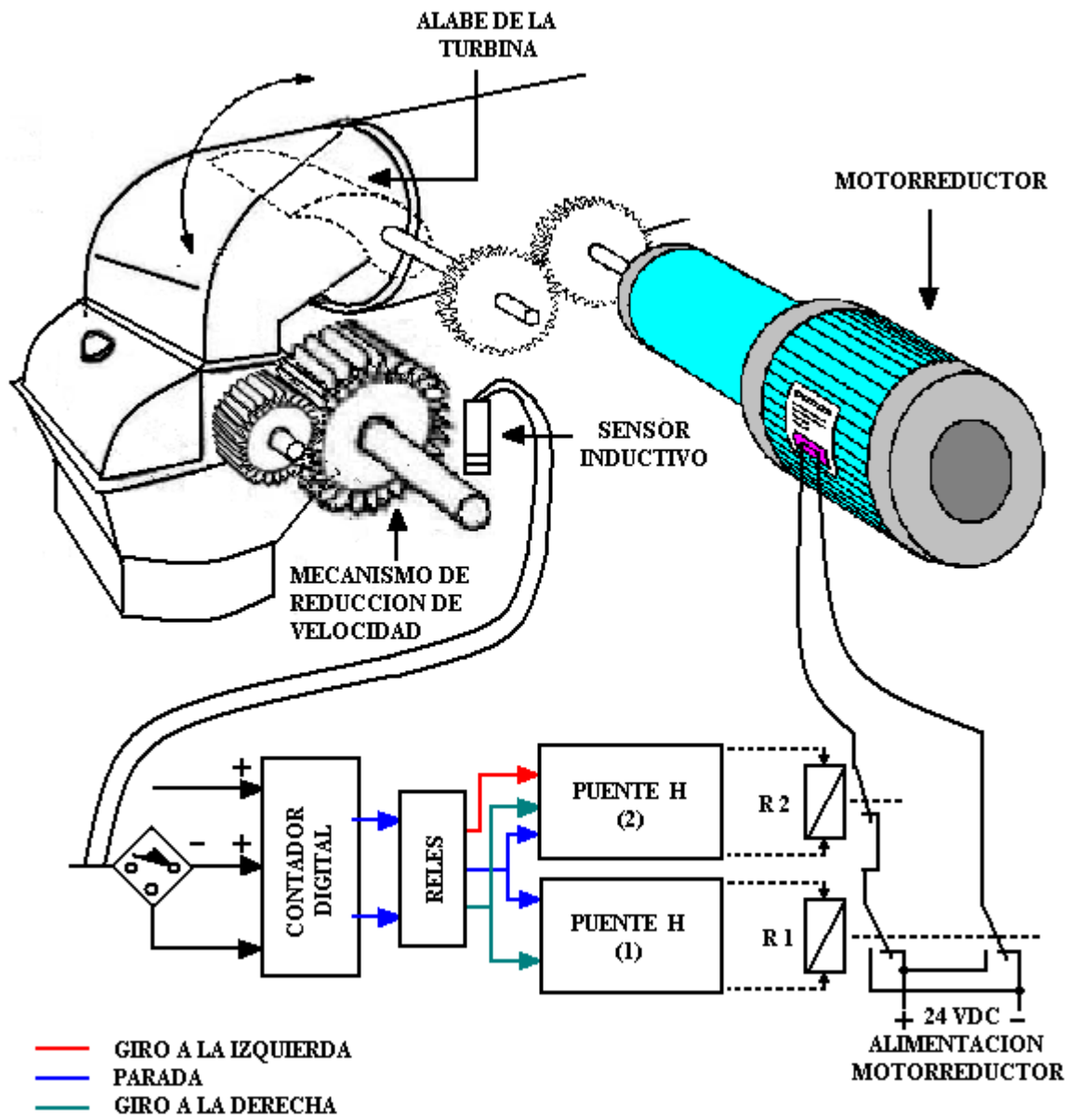


Figura N° 45

5.2 ESPECIFICACIONES DE LA TURBINA MITCHEL BANKY.

La turbina de flujo transversal es una máquina de gran importancia en pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. Es por esto que un buen diseño proporciona un aumento de la eficiencia que se suma a la sencilla construcción de esta³².

La regulación de la potencia se realiza variando el caudal que ingresa a la máquina, mediante el álabe regulador (figura N° 46), que permite estrechar la sección de pasaje del agua a través de un movimiento sobre su eje³³.

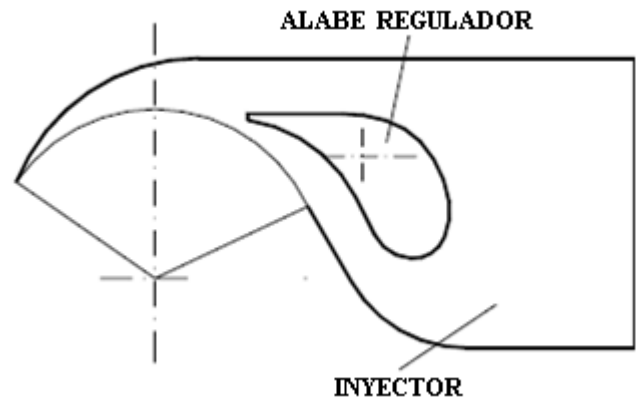


Figura N° 46

Ubicación del alabe regulador de caudal dentro del inyector

Como ya sabemos, el control se lo realiza manualmente por un operador, pero el inconveniente es el riesgo de ser manipulado erróneamente. Es así, que como un objetivo, se tiene que este alabe, sea accionado mediante mecanismos electromecánicos y de forma automatizada, para dar accionamientos de cierre y apertura de la válvula y dar paso del líquido, controlando de esta manera, la variación de la velocidad de la turbina.

Se verifica que la cupla nula en el alabe regulador, se manifiesta para un 50% de apertura aproximadamente³⁴. Las máquinas que tienen esta geometría de inyector y funcionan con saltos mayores a 25 metros pueden tener problemas causados por la presencia de cavitación en zonas de bajas presiones, como en la superficie inferior del álabe regulador.

Con estas consideraciones hechas, podemos iniciar con el desarrollo de este capítulo.

³² "Turbina Mitchell-Banki: Criterios de Diseño, Selección y Utilización"; F. Zarate, C. Aguerre, R. Aguerre; Universidad Nacional de La Plata; La Plata, 1987.

³³ Ariel R. Marchegiani.

³⁴ F. Zarate, 1987.

5.3 EL EJE DE LA TURBINA Y SU VELOCIDAD DE ROTACION

Es la parte esencial, que tomamos en cuenta en este trabajo, porque precisamente, este es el punto de inicio que nos dará los diferentes parámetros de trabajo, para su posterior análisis y cálculos posteriores.

Se tiene que las turbinas, ya sean Pelton o Mitchel Banky u otras, que se instalan en microcentrales hidroeléctricas, vienen montadas en un eje de acero, cuyo diámetro va desde 50 a 100 mm de diámetro.

La velocidad del eje de la turbina, directamente depende del tipo de generador que se tiene, tomando siempre en cuenta la frecuencia, que el generador deberá brindar, en este caso, de 50 Hertzios, normalizado en nuestro país.³⁵

Como referencia general, se toma a una microcentral hidroeléctrica, ubicada en la localidad de Ch'alla en la provincia Nor yungas del departamento de La Paz, que se encuentra a orillas del río Santa Clara a una altitud de 100 metros con respecto a la población, donde se aprovecha una vertiente, que baja de una serranía cercana a la población. La planta hidroeléctrica mencionada, tiene un generador AC que viene montada junto a una turbina y que entre las dos existe un acople flexible de caucho con la finalidad de evitar la vibración. Como datos principales del generador se tiene:

- Velocidad de 1500 rpm.
- Tiene dos pares de polos.
- 50 hertzios.

En la práctica se ha visto que una gran mayoría de estas turbinas, operan a esta velocidad de rotación de 1500 rpm en la parte de su eje de rotación, la cual tomamos como referencia en este trabajo. Es importante mencionar que la velocidad puede variar, siempre dependiendo del tipo de generador, y del número de pares de polo que lleva esta, (ver ANEXO 3).

³⁵ Manual del operador hidromecánico de una microcentral hidroeléctrica. (Fuente internet).

5.3.1 ADAPTACIONES EN EL EJE DE LA TURBINA

Como ya sabemos que el eje en el caso de girar a 1500 rpm o, inclusive a velocidades mayores, el sensor deberá ser capaz de detectar en forma precisa esta sobrevelocidad, debiendo tener alta frecuencia de conmutación. Pero existe el riesgo de que el sensor siendo aun de precisión, a esta velocidad pueda mostrar datos erróneos e imprecisos, la cual sería de carácter catastrófico en el presente trabajo. Es por esta razón que se sugiere adaptar en un extremo del eje de la turbina un sistema de mecanismo de reducción de velocidad, con la finalidad de reducir la velocidad del eje en otro que gire a velocidades bajas y que sea apta como para que el sensor pueda detectar estas variaciones en forma eficiente y segura. La relación de desmultiplicación entre el piñón y el engranaje mayor (rueda) se calcula dependiendo de la frecuencia de conmutación del sensor. En nuestro caso si las velocidad del eje es de 1500 rpm, entonces con una relación de desmultiplicación (i) de 3 a 1 se reduciría el eje a 500 rpm, que a esa velocidad el sensor podrá captar las variaciones con mayor facilidad.

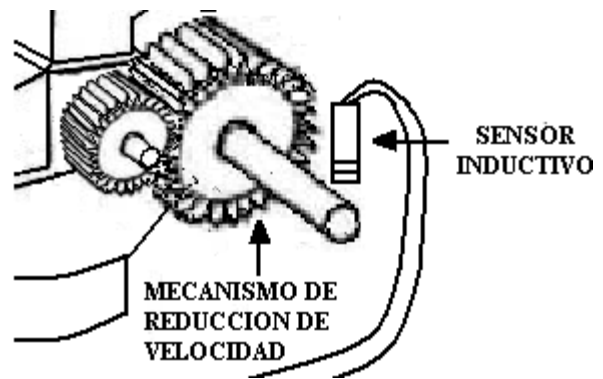


Figura N° 47

$$i = 1500 / 3 = 500 \text{ rpm}$$

5.4 EL SENSOR

5.4.1 ADAPTACION DEL SENSOR Y SU NECESIDAD DE ELECCION

Se adapta una diana sobre la superficie del eje de la turbina, y que al girar, ocasiona la variación de pulsos. La distancia de la diana a la cara de detección, el tamaño, su velocidad y el tipo de interruptor, están expresadas según catalogo del sensor (ANEXO 12) donde se indica a que distancia y como debe estar situada la dianha. Ver figura N° 48.

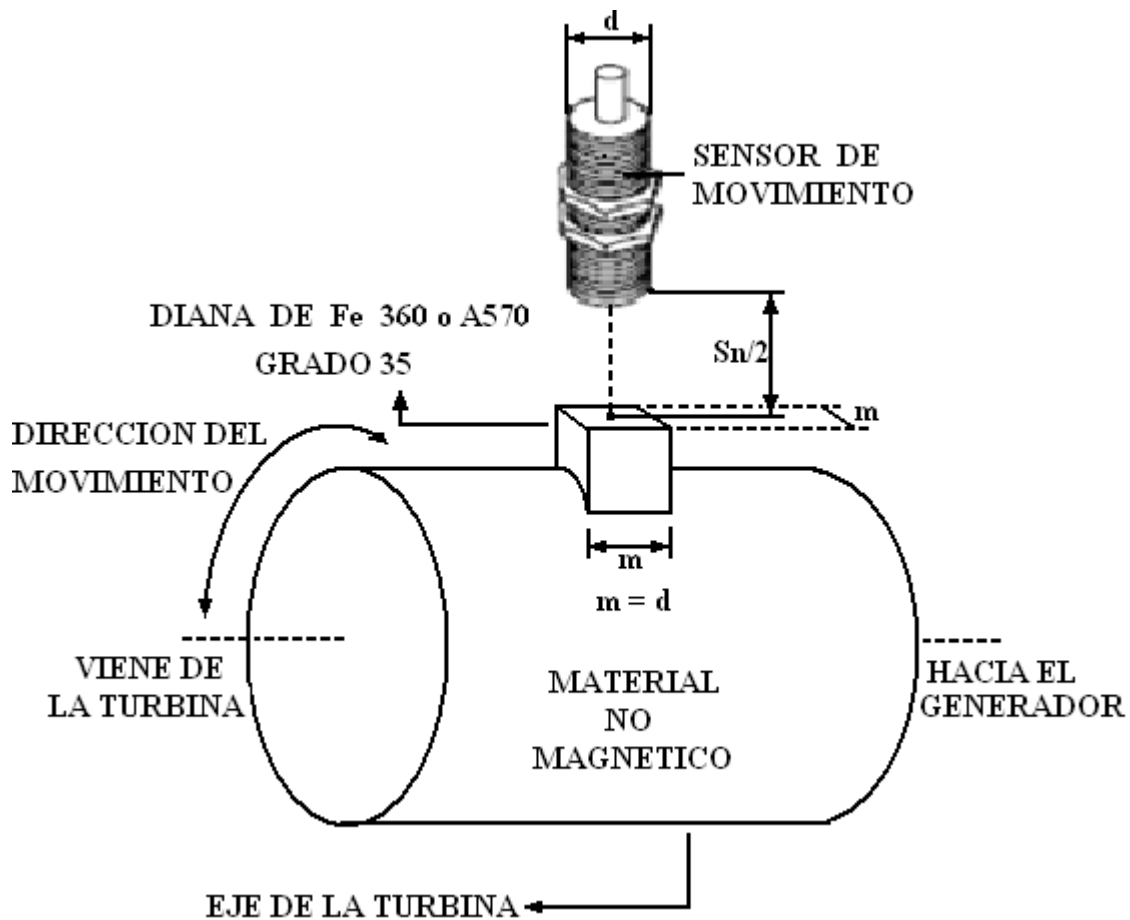


Figura N° 48
Aspecto de la diana incrustada en el eje y la distancia del sensor a la diana.

Dónde:

m = Un solo lado de la diana.

d = Diámetro del sensor.

$S_n/2$ = Distancia de detección.

Elección del tipo de sensor

La elección del sensor, conlleva a tomar en cuenta los diferentes aspectos y exigencias de la máquina. Es así que llegamos a la conclusión, de que se necesita un sensor con la frecuencia de conmutación bastante adecuada a la velocidad de rotación del eje de la turbina, sin olvidar las sobrevelocidades que se presentan durante su funcionamiento.

El contador digital que se aplica al proyecto tiene por función: el de contar los pulsos ingresados desde el sensor, originados debido a las variaciones de velocidad en el eje de la turbina. Estos pulsos ingresados son clasificados en los siguientes tipos.

- Pulsos por debajo de los 1470 rpm.
- Pulsos por encima de los 1530 rpm.
- Pulsos en un régimen estable dentro de los límites (1470 a 1530 rpm, objetivo deseado).

Las señales de salida de alarma del contador se activan en los siguientes casos:

Primero, si la velocidad del eje se reduce (pulsos por debajo de los 1470 rpm), entonces el contador acciona un relé, para que este accione mediante el puente H al motor y que este a su vez pueda girar en un sentido, con el objetivo de aumentar el caudal del líquido mediante la válvula reguladora, en este caso el alabe de la turbina, hasta que la velocidad del eje llegue a estabilizarse a la velocidad deseada.

Segundo, en el caso contrario, si la velocidad del eje se incrementa (pulsos por encima de los 1530 rpm), se envía otra señal de comando al motor y que de esta manera pueda girar en otro sentido al anterior, con el objetivo de reducir el caudal de líquido mediante la válvula reguladora hasta que la velocidad del eje llegue a la velocidad deseada.

Tercero, cuando el sensor detecta que la velocidad ya se encuentra en un margen aceptable (pulsos en un régimen estable dentro de los límites, entre 1470 a 1530 rpm), entonces el contador emite otra señal de comando, en este caso esta señal es el de parada, para que el motor detenga su movimiento en forma inmediata.

El modelo que se usa en la presentación del prototipo del proyecto, y debido a su amplia variedad de accionamientos es el contador digital MODEL PAXI-1/8 DIN COUNTER/RATE PANEL METER. Se recomienda el mismo modelo para la instalación futura del proyecto.

DC Versión (PAXI00)

DC Power: 11 to 36 VDC, 14 W

Temperatura de operación a 40 ° C operando a <15 VDC y tres tarjetas de instalación.

AC Power: 24 VAC, +/- 10 %, 50/60 Hz, 15 VA.

Aislamiento: 500 Vrms para 1 min., (50 V en trabajo).

Este contador viene instalado de fábrica con una tarjeta (plug in card-DUAL RELAY PAXCDS10) que puede accionar como máximo dos alarmas en su salida (setpoint), la cual no parece ser suficiente para este trabajo porque necesitamos una de tres salidas, pero que sin embargo este contador tiene una facilidad de accionar un parámetro que deja un espacio de rango inactivo y que en este caso representa el accionamiento de parada, ver catálogo, (ANEXO 13), que es el módulo 6 (setpoints) donde existe un parámetro de Hi, y Lo, que indica que si se selecciona Hi el accionamiento solo se dará en rangos menores al seleccionado, y en el caso contrario de seleccionar Lo, solo se accionara en rangos superiores al seleccionado, (Ver figura 49).

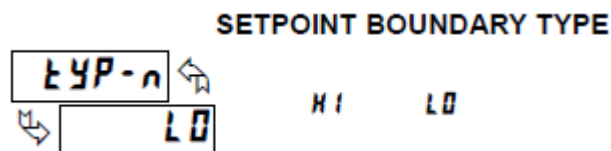


Figura 49

Existen también otros componentes electrónicos que pueden hacer el mismo trabajo que un contador digital. Nos referimos a los tacómetros digitales, que durante su funcionamiento pueden también enviar señales de pulsos hacia un comparador, que después de procesar las señales, puede también accionar a los relés, también se la puede realizar mediante PLs, etc.

5.6 PUENTE H

En la actualidad existe un vasto número de circuitos integrados para el conexionado de puente H. Como una opción alternativa puede ser el CI L293B, o el L 293D que ya tiene internamente un conexionado interno mediante transistores con la finalidad de

invertir la corriente, y de esta manera poder controlar pequeños motores de hasta 12 VDC. Pero en nuestro caso no resulta, debido a que el motor que necesitamos controlar es de 24 VDC y que debe tener una potencia apropiada para poder accionar el alabe de lña turbina. Además de que el circuito integrado, se presenta la falencia de la caída de tensión bastante notoria, y que afecta directamente en el funcionamiento del motor.

Por estas razones, se opta por armar un circuito de puente H mediante transistores de mayor potencia y que no presenten variaciones apreciables de caída de tensión en sus salidas. El circuito de puente H, normalmente maneja pequeños motores DC de 100 W, 5 amperios o 40 voltios, cualquiera de las tres especificaciones. Pero usando elementos de mayor potencia para implementar el puente se puede manejar motores DC que necesiten más potencia.

Debido a la limitación de tensión en el circuito, se hace necesario la implementación de relés, que como sabemos tienen la facilidad de manejar corrientes mayores y que son aptas para actuar como interruptores de alimentación directa al motor. Esta parte se la presenta con mayor énfasis más adelante en este mismo capítulo.

El funcionamiento del circuito puente H es simple, puede manejar un motor de 6 a 40 voltios. Tiene dos entradas lógicas A y B, y dos salidas denominadas también A y B. si la entrada A es alta, entonces la salida A también será alta y el motor gira en un sentido. Ahora, si la entrada B es alta, la salida B es alta, y el motor gira en sentido contrario.

Si las dos entradas son bajas, el motor estará apagado y no existe consumo de potencia alguno. Por el contrario, si las dos entradas son altas, el motor entra en cortocircuito pero no sufre daño ya que esto se hace para producir un efecto de frenado del motor. Esto solo se hace por un corto tiempo.

5.6.1 DIAGRAMA ESQUEMATICO

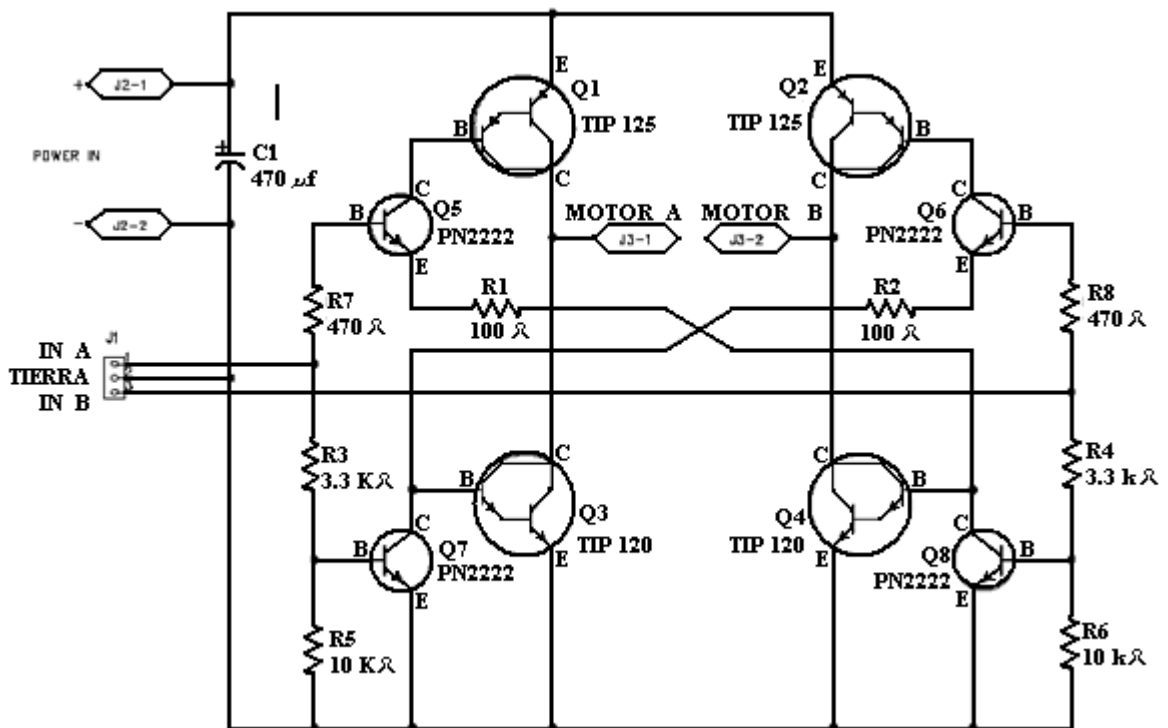


Figura N° 50
Diagrama esquemático del puente H

LISTA DE COMPONENTES

- C1 - Capacitor de 470 mF
- J1 - Conector de 3 pines (Opcional)
- J2 y J3 - Conector de 2 pines (Opcional)
- Q1 y Q2 - transistor TIP125 Darlington PNP
- Q3 y Q4 - transistor TIP120 Darlington NPN
- Q5, Q6, Q7 y Q8 - transistor 2N2222A NPN
- R1 y R2 - resistor de 100 ohm
- R3 y R4 - resistor de 3.3k ohm
- R5 y R6 - resistor de 10k ohm
- R7 y R8 - resistor de 470 ohm

5.6.2 INVERSION DEL SENTIDO DE GIRO EN PUENTE H

El mapeo de estados de operación que usaremos se presenta en la siguiente tabla, donde se ha eliminado el estado de cortocircuito.

TABLA N° 10

TABLA DE VERDAD

ESTADO	IN A	IN B
PARADO	0	0
PARADO	1	1
IZQUIERDA	1	0
DERECHA	0	1

Para evitar el cortocircuito entre los transistores Q1, Q2, Q3 y Q4 se utilizan circuitos de interlock. Esto se realiza porque si cerraran circuito directamente entre el positivo de la fuente de alimentación y tierra, sin pasar por el motor, es seguro que se excederá la capacidad de corriente entre el emisor – colector y los transistores, razón lo cual se dañarían para siempre. Y si la fuente no posee protección, también podrá sufrir daños importantes. Abajo mostramos un ejemplo.

Circuito de "intelock" que evita que ambas señales se activen al mismo tiempo

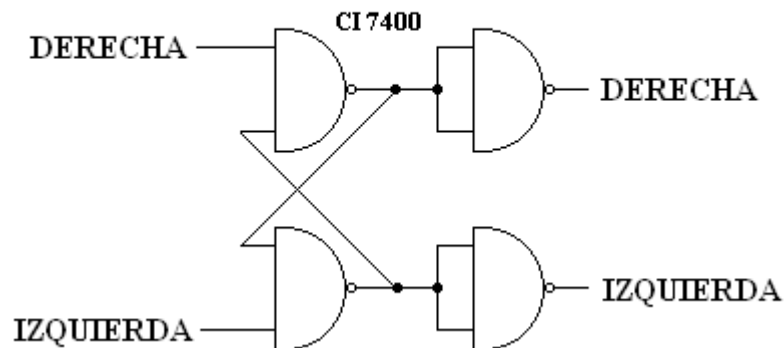


Figura N° 51

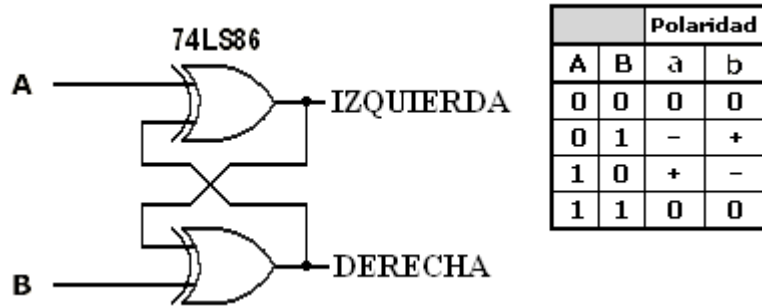


Figura N° 52

En la tabla N° 10, si se presentan las dos señales activas simultáneamente se habilita uno de los sentidos de marcha, sin que se pueda prever cuál será. Si las señales llegan con una leve diferencia de tiempo, se habilita la orden que ha llegado primero, pero si ambas señales llegan al mismo tiempo no se puede prever cuál comando (giro a la izquierda o derecha) será habilitado.

El circuito Puente H sólo permite un funcionamiento SÍ-NO del motor, a plena potencia en un sentido o en el otro (además del estado de detención, por supuesto), pero no ofrece un modo de controlar la velocidad.

Como una opción alternativa de la conexión de puente H, presentamos una segunda opción de conexionado utilizando relés, y que mostramos en la figura N° 53.

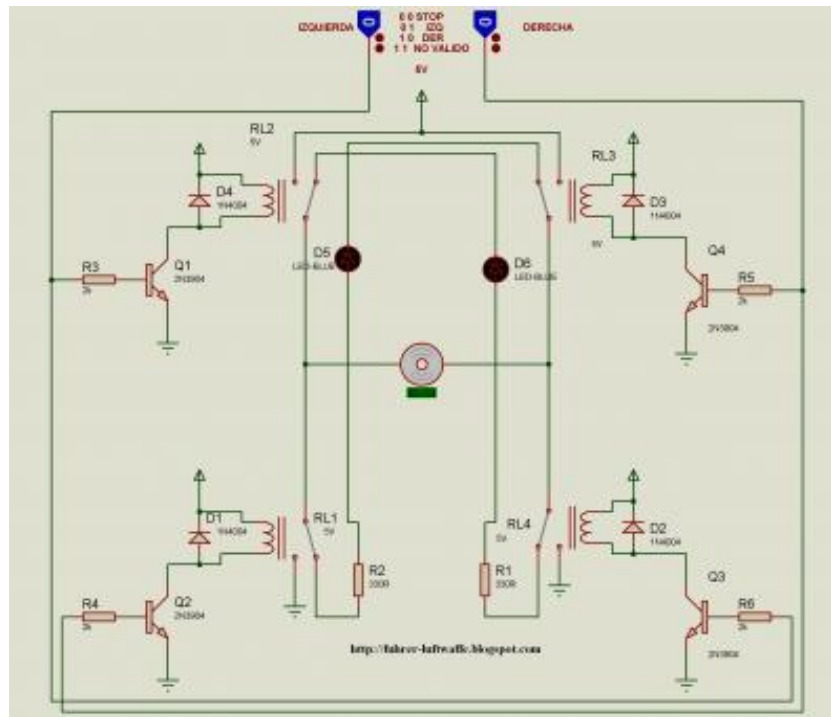


Figura N° 53

El circuito esta hecho por medio de relés que son activados por transistores.

5.7 TRANSISTORES

Las señales de salida emitidas por el circuito integrado del puente H, deben ser amplificadas en corriente, para excitar las bobinas de los relés formando una llave de cruce, que alimenta el motor con una fuente de poder distinta a la del circuito de control.

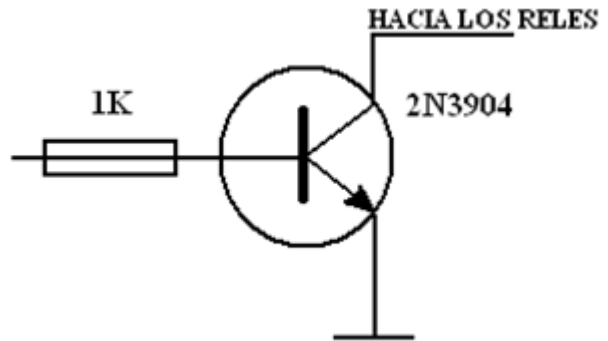


Figura N° 54

El circuito esta hecho por medio de relés, que son activados por transistores

El modelo del amplificador que usaremos es el 2N3904, y que anteponiendo a estos, se colocan siempre unas resistencias de 1 K. Su conexión será en serie con las salidas del circuito integrado.

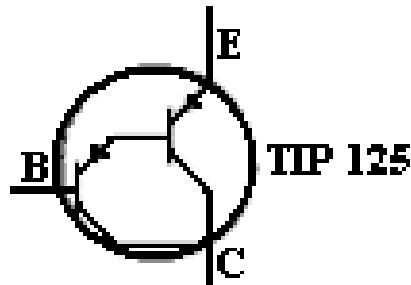


Figura N° 55

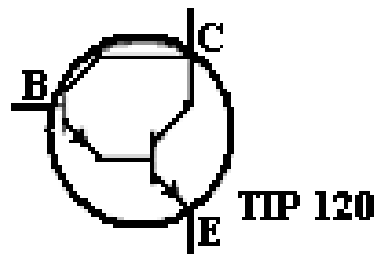


Figura N° 56

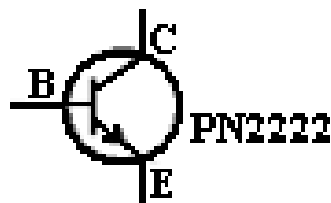


Figura N° 57

Las figuras 52, 53 y 54 son diagramas de los transistores, que se usan en el circuito del puente H.

5.8 LOS RELES

Las tensiones de salida proveniente de los puentes en H, llegan a excitar las bobinas de los relés, que se activan en forma inmediata y de esta manera dan paso a la alimentación y arranque del motor, que en nuestro caso es un motorreductor DC, es decir un motor que ya viene diseñado y acoplado a un reductor de velocidad.

El diagrama siguiente incluye otro componente. Cuando la corriente que genera el puente H no es suficiente ni para conmutar el relé, es necesario entonces la incorporación de un transistor. El modelo a usar es el 2N3904.

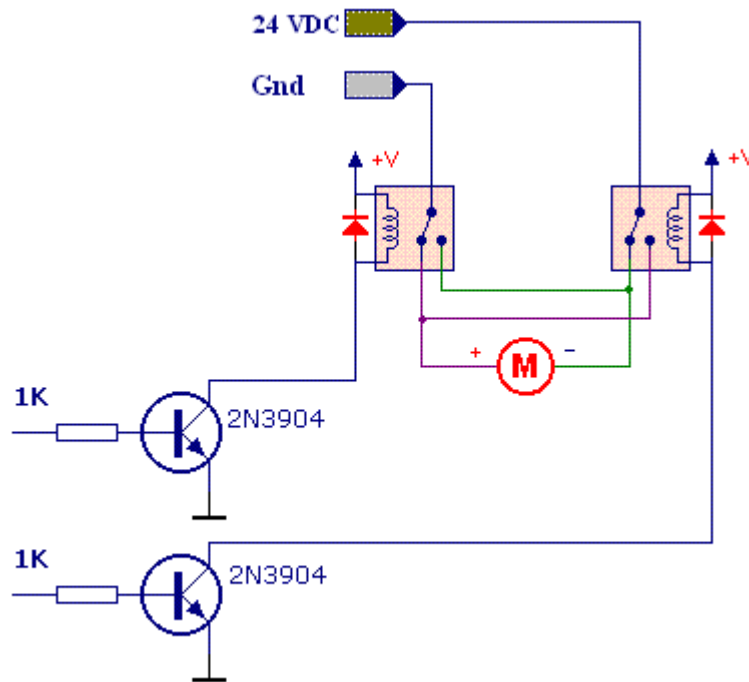


Figura N° 58

En la figura se puede observar que existen unos diodos colocados en paralelo a las bobinas de los relés, con el objetivo de garantizar la dirección del sentido del flujo de corriente. Los transistores amplifican la corriente para excitar las bobinas del relé.

5.9 EL MOTORREDUCTOR

Son muchísimas y muy variadas las aplicaciones de los diversos tipos de motores eléctricos, pero no siempre pueden satisfacer completamente las necesidades, sobre todo de bajas velocidades y grandes cuplas. En estos casos se requieren reductores de velocidad.

El motorreductor es precisamente un motor acoplado a un reductor de velocidad, viene diseñado de fábrica, por lo que nosotros poco podemos hacer solamente jugar con sus datos y buscar uno apropiado para este trabajo, que mencionamos a continuación.

5.9.1 CALCULOS PARA EL MOTORREDUCTOR

El agua al pasar de la tubería de presión hacia el inyector de la turbina viene acompañada de cierta fuerza. Esta fuerza del agua al ser interrumpida por los alabes de la turbina producen una resistencia que se opone al movimiento rotacional del alabe. Precisamente, es esta resistencia de oposición de la fuerza que se debe determinar, para que luego se pueda tomar como un parámetro que sirva para determinar la potencia requerida y necesaria para romper esta fuerza de oposición.

El cálculo de la presión del líquido en el punto antes de entrar en contacto con el alabe ya viene definido en su diseño. Basta con indagar sobre los antecedentes de instalación de la microcentral.

Una vez obtenida la presión del agua, aplicamos la fórmula que relaciona presión y fuerza:

$$P = F/A$$

Donde:

P = Presión, expresada en pascales (Pa).

F = Fuerza constante expresada en newton "N".

A = Área en metros cuadrados "m²".

La presión que se presenta en el alabe, cuando esta se encuentra totalmente abierta, asumimos que es nula, por no presentar obstáculos hacia del curso de la dirección del agua. Seguidamente en el instante en que el alabe se accione para restringir el paso del agua, su presión se incrementa para contrarrestar a la del agua. Esta presión del alabe puede ir en incremento hasta llegar a tener una igualdad de presión con la del agua, que ocurre en el momento cuando el alabe este en posición tangencial al curso del agua y no haya paso del agua hacia la turbina. En la práctica no nos dedicaremos a este momento final porque la intencionalidad de este proyecto es la de reducir o aumentar el caudal del líquido sin llegar a cortarla totalmente.

De la ecuación anterior despejamos la fuerza (F), de la cual obtenemos:

$$F = P/A$$

La fuerza (F) obtenida reemplazamos en la ecuación de trabajo, donde:

$$T_{A-B} = F * D = F * \Delta x$$

Dónde.

T_{A-B} = Trabajo realizado por la fuerza (F) al desplazar el alabe de la posición inicial hacia su posición final, expresada en joules “J”.

D = Distancia que recorre el alabe en su movimiento rotatorio, expresada en metros “m”.

Δx = Distancia = D = $x_f - x_o$

El trabajo obtenido reemplazamos en la ecuación que relaciona la potencia con el trabajo:

$$P = T_{A-B} / t$$

Donde:

P = Potencia desarrollada medida en watt “W”

t = Es el tiempo empleado, en segundos “s”

Finalmente el dato obtenido es suficiente para buscar el tipo de motor que se requiere junto al sistema motorreductor mencionado anteriormente, ver (figura N° 61).

5.9.2 ELECCION DEL TIPO DE MOTORREDUCTOR

Para la selección de este mecanismo se debe tener en cuenta la relación de reducción que se requiere. Para este fin tomamos en cuenta la distancia que debe recorrer el alabe regulador durante el momento de su accionamiento. Esta distancia varía según las capacidades de las turbinas.

La diversidad de diseño en la geometría del inyector hace que se adopten distintos ángulos de admisión, llegando a la conclusión de que el alabe debe girar entre aproximadamente 25 a 30 grados antes de cerrarse completamente la admisión de líquido.

Con este dato de inicio podemos ver que cualquiera sea el sistema motorreductor, la capacidad de su relación de desmultiplicación, siempre debe brindar este ángulo de giro sin llegar a pasarse. Como un sistema de protección se tiene en la mayoría de las pequeñas plantas unos mecanismos de finales de carrera como una garantía de que el sistema funcione sin riesgos.

En base al catalogo de la empresa IGNIS un motorreductor que más se acerca a esta relación es el motorreductor modelo MR10 – 417 – VEL con una capacidad de reducción bastante amplia de 2304:1 es decir recibe 1700 rpm y las reduce a 0,7 rpm con una capacidad de torque de 100 (Kgf*cm)³⁷. (Ver ANEXO 11).

Tomando en consideración que el tiempo de cierre debe ser en aproximadamente 6 segundos para evitar la presencia del golpe de ariete, también considerando que los 25 grados de distancia que debe recorrer el alabe no alcanza a ser ni una vuelta del eje de salida del motorreductor, tenemos:

$$\frac{0,7 \text{ rpm}}{60 \text{ s}} * 6 \text{ s} = 0,07 \text{ rpm}$$

³⁷ www.ignis.com.ar (catalogo-motorreductores).

Lo que significa que el motorreductor en 6 segundos apenas debe brindar un movimiento circular del eje de salida de 0,07 revoluciones, lo cual la desmultiplicación del motorreductor es suficiente y equivalente a los 25 grados de movimiento circular del alabe regulador de la turbina.

5.10 CONSIDERACIONES DE CAMBIO DE SENTIDO DE GIRO DEL MOTOR

Para realizar el cambio de giro, en el motor DC, se debe tener en cuenta diferentes aspectos, puestos en consideración.

Generalmente para obtener un cambio de sentido de giro, basta con invertir la polaridad de la corriente en la armadura, con la cual debería cambiar el sentido de giro, pero se debe tener especial cuidado, porque muchos motores además de los devanados de campo, traen devanados de campo en serie con la armadura, por lo que si cambiamos de polaridad el campo, posiblemente el motor aunque cambie de sentido de giro, va a sobrecalentarse o perder potencia, en estos motores notaremos que traen una placa donde especifica la conexión exacta que debe de hacerse para que cambie el sentido de giro correctamente.

También puede suceder que si el motor trae un taco generador para control en lazo cerrado, al cambiar de sentido de giro el taco generador enviara la señal de referencia negativa al control electrónico, por lo que el control tratara de corregir esta señal aumentando el voltaje al máximo y esto hará que el motor arranque instantáneamente a toda su velocidad sin poder controlarlo.

5.11 CONTROL DEL ALABE DE LA TURBINA

El control del alabe como ya sabemos es el objetivo final del proyecto, ya que al tener el control de los movimientos de cierre y apertura del alabe, podremos controlar la cantidad de caudal de líquido que pasa y de esta manera también controlamos la velocidad de giro de la turbina.



Figura N° 59

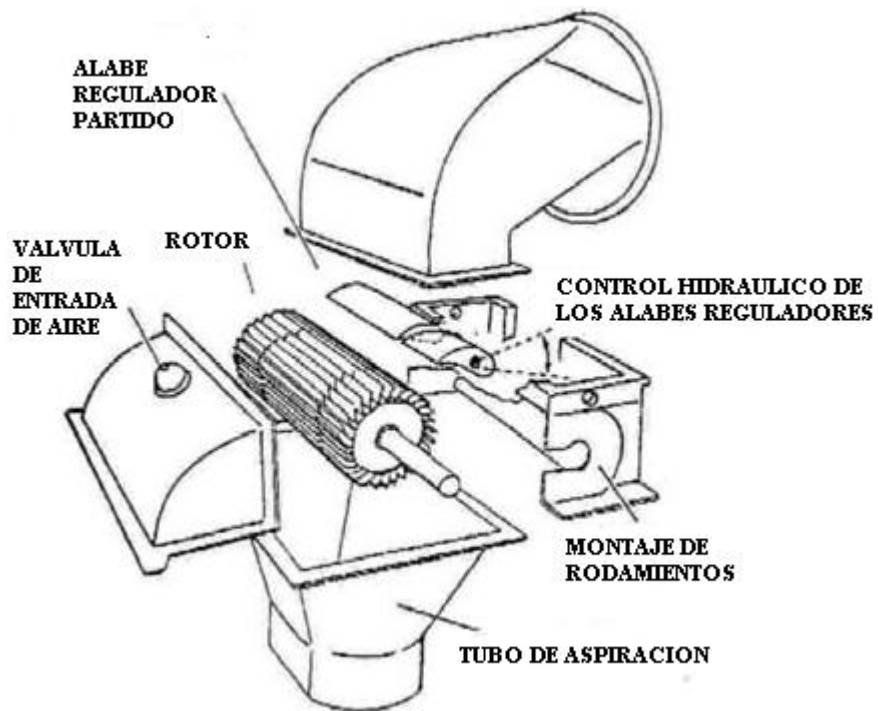


Figura N° 60

En la figura a) y b), se muestra las partes que compone la turbina, donde se ve claramente el alabe y su posición respecto a la turbina.

La instalación del motorreductor debe acoplarse en este eje del alabe, mediante una serie de engranajes adaptados de forma que brinde un acoplamiento apto y seguro para su funcionamiento. Existe en el mercado, una gran variedad de accesorios, que pueden ser usados para conseguir un acople perfecto entre el engranaje y el eje de la turbina, una de ellas es utilizando chavetas de sujeción, que evitan el deslizamiento libre del engranaje. También existe la posibilidad de acople, sin usar engranajes, es decir en forma directa mediante otro tipo de mecanismos de sujeción, tales como bridas, etc., ver (figura N° 61).

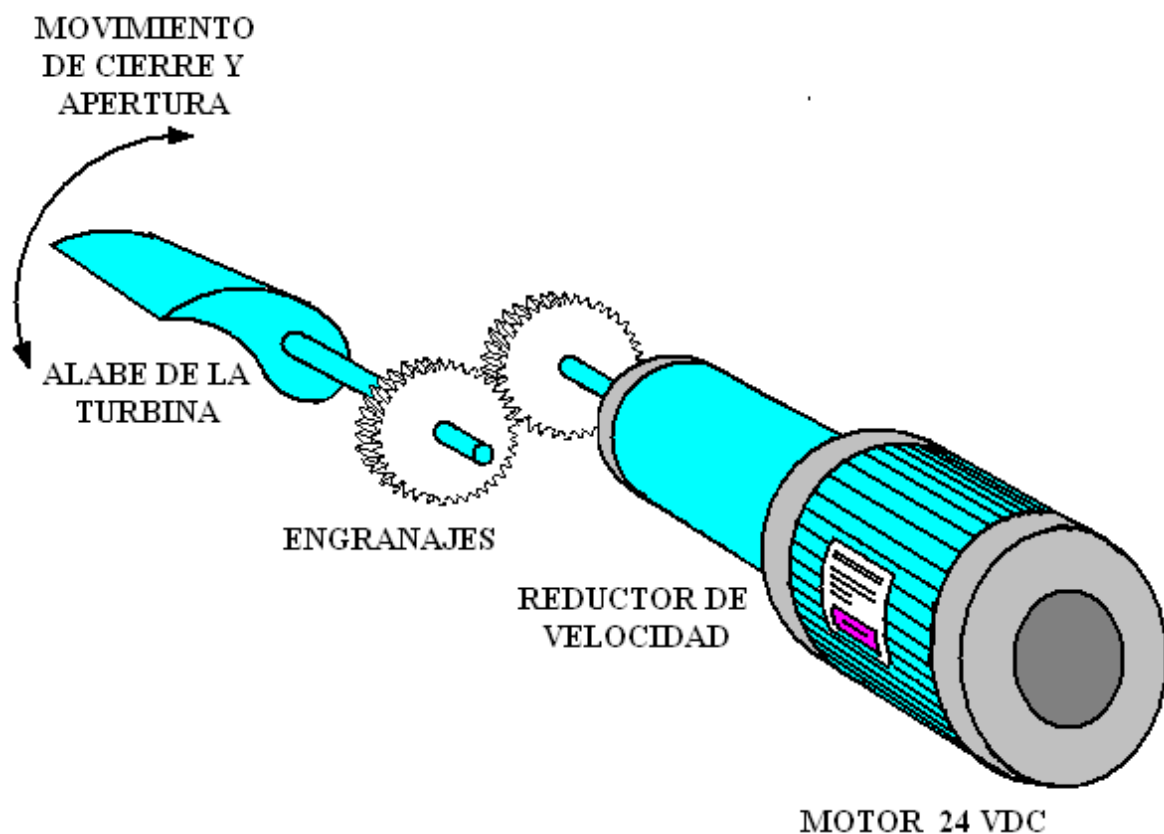


Figura N° 61

En la figura, el motor transmite movimiento de rotación al reductor de velocidad. El reductor de velocidad se encarga de ganar potencia al reducirse la velocidad. Luego este movimiento es transmitido mediante una serie de engranajes al alabe de la turbina, que finalmente es la encargada de accionar los diferentes giros.

También es necesario tomar en cuenta los elementos soportes, es decir los elementos de bancada donde debe descansar el sistema moto- reductor. No adjuntamos este

diagrama, puesto que en la práctica, la distribución de los equipos de planta varía bastante según los lugares de instalación y de ubicación.

5.12 SISTEMA DE CONTROL DEL MOTOR

Existen muchas formas de controlar un motor, utilizando diferentes modalidades que cumplen el mismo propósito. En nuestro caso es el sistema comandado por relés, que tienen la facilidad de conmutar sus contactos, para dar vía libre a la tensión requerida y dar arranque al motor, obteniéndose también de esta manera los diferentes sentidos de giro. Para detener el motor basta con que se desactiven los relés y no haya flujo de energía.

Como ya vimos con anterioridad, que el sistema de control del motor es comandado por el puente H que controla a los relés y que estos posteriormente dan un contacto para la alimentación del motor. En los siguientes diagramas mostramos el esquema general de las conexiones de los sistemas de control y de fuerza, los cuales se las ha dividido en dos partes para tener una visión mucho más clara.

ESQUEMA GENERAL (1)

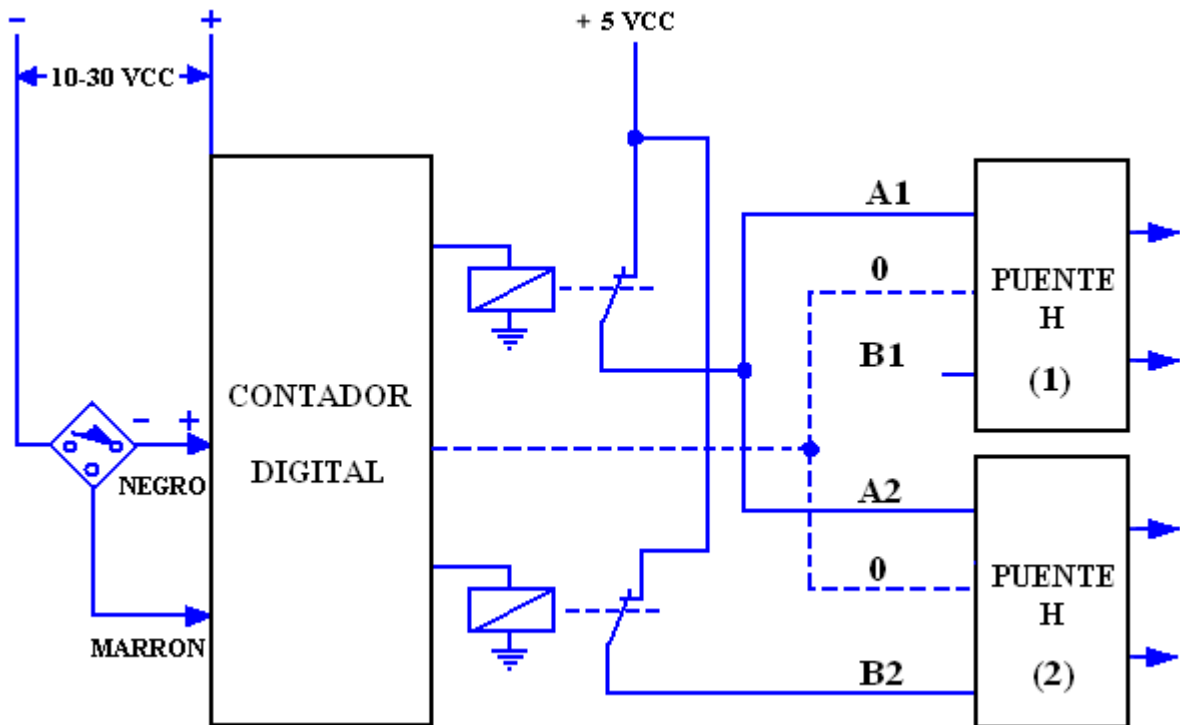


Figura N° 62

El circuito de la figura N° 62, aloja en su contenido inicial al sensor, que actúa como un receptor de pulsos provenientes del eje de la turbina, estos pulsos son enviados al contador digital donde se selecciona y se envían tensiones de salida hacia los relés, que al activarse envían tensiones de 5 VDC a los circuitos de puente H. El conexionado del puente H, conjuntamente con los relés actúan como interruptores de marcha, parada e inversión de giro del motor.

ESQUEMA GENERAL (2)

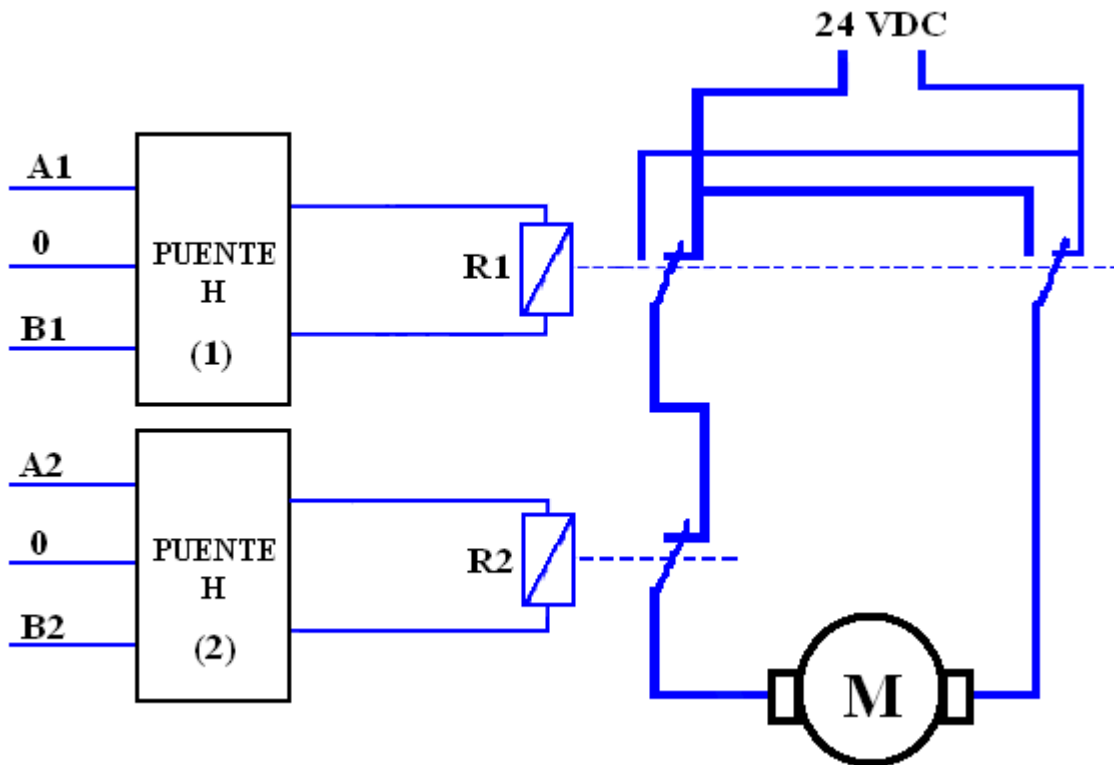


Figura N° 63

En la figura N° 63, R1 controla los sentidos de giro del motor, en cambio R2 controla la marcha y parada del motor.

En la práctica, se puede optar por colocar transistores en serie entre los relés y el puente H, con la intención de ganar en corriente y de esta manera garantizar el funcionamiento de los relés. Estos transistores son el modelo 2N3904, también se hace necesario el incorporamiento de resistencias de 1K, también colocados en serie.

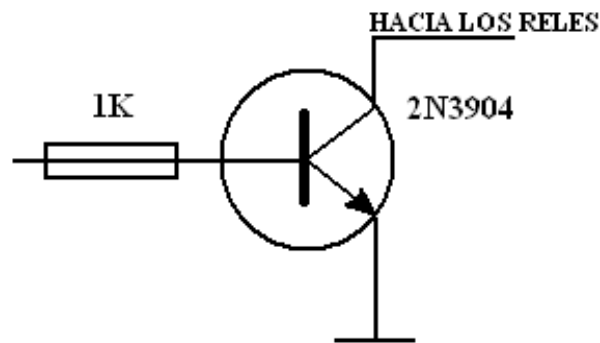


Figura N° 64

Transistor del tipo NPN

5.13 FUENTE DE ALIMENTACION PARA EL SISTEMA

Todo sistema eléctrico o electrónico necesariamente debe tener una fuente de alimentación que sea capaz de brindar posteriores accionamientos en los diferentes mecanismos de un equipo.

La alimentación para todo el sistema, procede del sistema de generación de la planta, que luego recarga a una batería o acumulador (similar a un alternador de un automóvil). La batería debe ser capaz de brindar una fuente continua equivalente a 24 voltios, necesaria para accionar el circuito de fuerza del motor, el contador y el sensor. También es preciso que la batería brinde tensiones menores como ser de 5 VDC y 12 VDC, para alimentar primeramente el circuito de control donde se encuentran los circuitos electrónicos, el puente H, circuitos integrados, transistores, diodos, etc., y luego a los relés que actúan como interruptores directos del motor.

Para obtener las tensiones menores, es decir las de 5 VDC y las 12 VDC, se utilizan transformadores que reducen las tensiones de salida hasta conseguir un nivel de voltaje adecuado.

En el siguiente diagrama mostramos un resumen general acerca de la fuente de alimentación de todo el circuito, y de los diferentes componentes que se accionan. Como podemos observar, esa fuente de energía se origina de una batería recargable del sistema de generación de la misma planta de generación eléctrica.

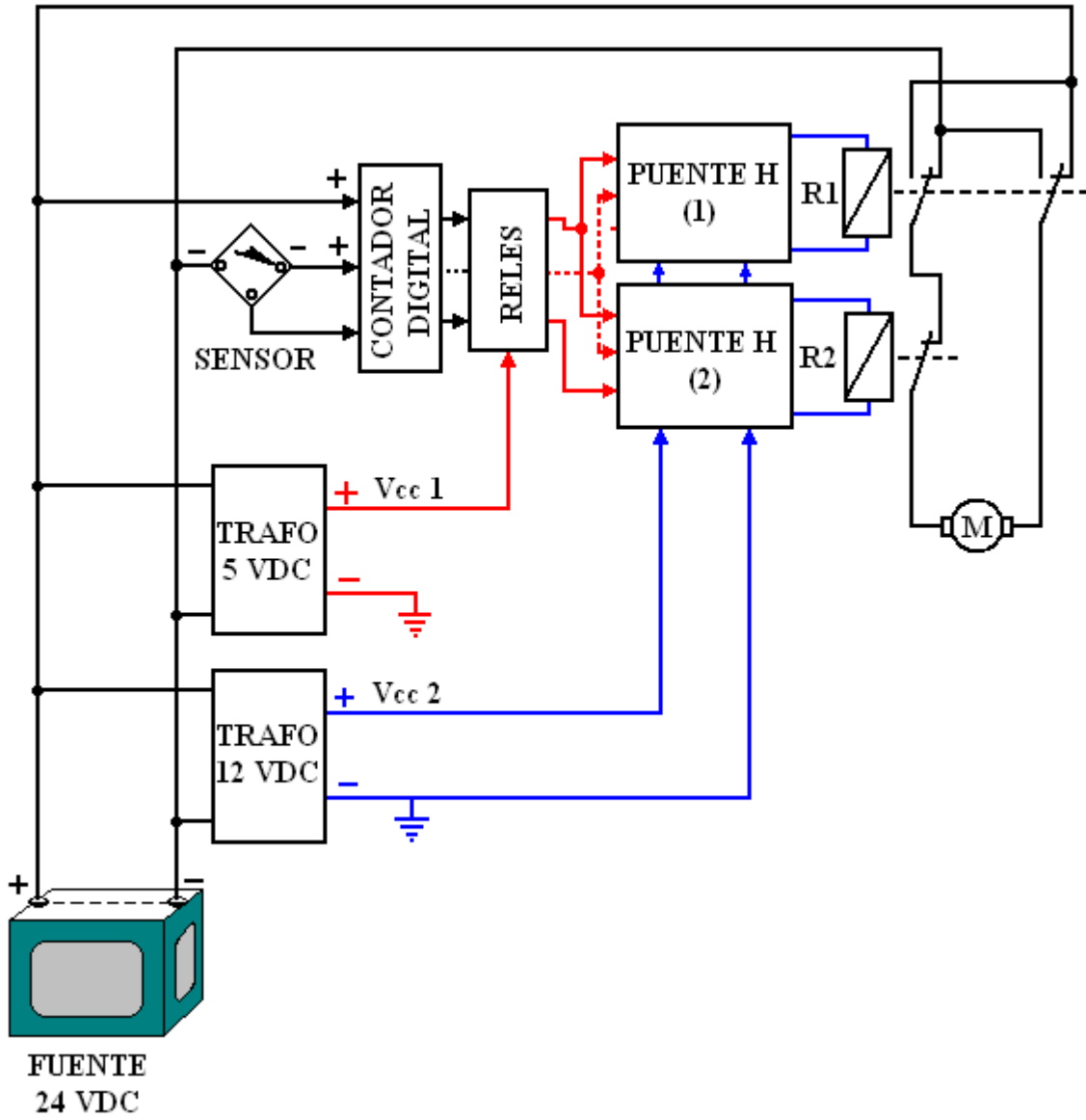


Figura N° 65

Con la intencionalidad de tener un buen rendimiento debemos considerar las variaciones de voltaje que se presentan durante el funcionamiento de esta fuente de alimentación. Las cuales para poderlas evitar se utilizan reguladores de voltaje con salida fija, y que estas necesariamente deben estar unidas a un disipador de calor, con la finalidad de evitar riesgos de sobrecalentamiento.

Dentro de los reguladores de voltaje con salida fija, se encuentran los pertenecientes a la familia LM78xx, donde “xx” es el voltaje de la salida. Estos son 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18 y 24V, entregando una corriente máxima de 1 Amper y soporta consumos pico de hasta 2.2 Amperes. Poseen protección contra sobrecargas térmicas y contra cortocircuitos, que desconectan el regulador en caso de que su temperatura de juntura supere los 125°C.

En este caso se utilizan tres tipos de reguladores de voltaje que corresponden a los modelos LM7805, LM7812 y LM7824. La primera nos brinda una tensión de salida de 5 voltios que luego alimenta a los circuitos integrados de puente H, los amplificadores, los diodos, etc. La segunda brinda una tensión de salida de 24 voltios la cual es apta para alimentar el contador digital, el sensor y el motor.

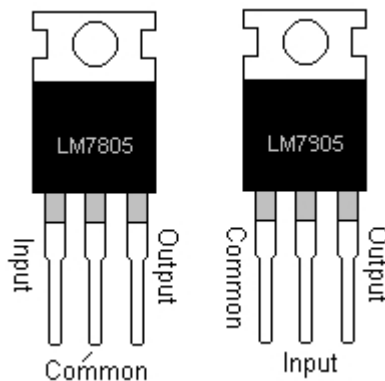


Figura N° 66

En la figura podemos ver dos tipos de reguladores de voltaje de salida fija donde los LM78xx son reguladores de salida positiva, mientras que la familia LM79xx es para voltajes equivalentes pero con salida negativa. Así, un LM7805 es capaz de entregar 5 voltios positivos, y un LM7912 entregara 9 voltios negativo.

CAPITULO VI

ANALISIS DE COSTO

6.1 COSTO DE MATERIALES Y COMPONENTES

TABLA 6.1

COSTO DE COMPONENTES ELECTRONICOS (Puente H)				
COMPONENTES Y EQUIPOS	CAPACIDAD	CANTIDAD	TOTAL PRECIOS	
			UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
Capacitor electrolítico	470 mF	2	1.50	3.00
Transistor Darlington	TIP 125 PNP	4	3.50	14.00
Transistor Darlington	TIP 120 NPN	4	3.50	14.00
Transistor	2N2222A	8	3.00	24.00
Placa electrónica	Mediano	2	10.00	20.00
Estaño	100 cm	1	2.00	2.00
Pomada	Pequeño	1	3.50	3.50
Diodos	1N4007	4	1.50	6.00
Resistencias	100 ohm	4	0.50	2.00
Resistencias	3.3K ohm	4	0.50	2.00
Resistencias	10K	4	0.50	2.00
Resistencias	470 ohm	4	0.50	2.00
Conector	2 pines	4	2.50	10.00
Conector	3 pines	2	2.50	5.00
Relé	12 VDC	3	6.00	18.00
Relé	24 VDC	3	8.00	24.00
Transistor	LM7805	1	3.00	3.00
TOTAL				154.00

TABLA 6.2

COSTO DE COMPONENTES ELECTRICOS				
COMPONENTES Y EQUIPOS	CAPACIDAD	CANTIDAD	TOTAL PRECIOS	
			UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
Contador digital	3 salidas	1	700	700.00
Sensor	3 hilos	1	300	300.00
Motor	24 VDC	1	350	350.00
Reductor		1	350	350.00
Cable	12 - 14	10 mts		20.00
TOTAL				1720.00

TABLA 6.3

COSTO DE COMPONENTES DE BANCADA³⁸				
COMPONENTES Y EQUIPOS	CAPACIDAD	CANTIDAD	TOTAL PRECIOS	
			UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
Barra de hierro	1 pulg ²	1	3 mts	30.00
Sierra mecánica	12 dientes	1	8.00	8.00
Electrodos	1	1	10.00	10.00
Tubo conduit	¾ * 3mts	2	20.00	20.00
Caja metálica	30 * 35	1	20.00	20.00
Taladro	6 mm	1	5.00	5.00
Tornillos y ramplu	6 mm	24	0.50	6.00
Abrazaderas	¾ ''	½ docena	6.00	6.00
Abrazaderas	1 ''	1 docena	15.00	15.00
TOTAL				120.00

³⁸ El diseño de los componentes de bancada no se la hizo porque la construcción de su estructura puede variar bastante dependiendo de cómo está instalada la turbina Mitchel Banky. El cálculo del costo de sus componentes es referente a un margen general.

TABLA 6.4

COSTO TOTAL DE MATERIALES Y COMPONENTES	
DESCRIPCION	COSTO TOTAL (Bs)
Componentes electrónicos	154.00
Componentes eléctricos	1720.00
Componentes de bancada	120.00
Total	1994.00

TABLA 6.5

COSTOS DE FABRICACION			
DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO U. (BS)	PRECIO TOTAL (Bs)
Puente H	1	150.00	150.00
Parte mecánica (bancada)	1	200.00	200.00
Total			350.00

6.2 COSTO O INVERSION TOTAL

Para calcular la inversión total se dividen las inversiones en dos clases:

Inversión fija.

Inversión diferida.

6.2.1 INVERSION FIJA

Son aquellos bienes tangibles, (que se pueden percibir de manera precisa), que tienen una vida útil y están sujetos a depreciaciones.

La tabla 6.6 indica el valor de la inversión fija.

TABLA 6.6

CONCEPTO	VALOR EN (Bs)
Materiales y componentes	1994.00
Total	1994.00

Mil novecientos noventa y cuatro Bolivianos

6.2.2 INVERSION DIFERIDA

Es aquella inversión de activos intangibles, los cuales son necesarios para la realización del proyecto.

La siguiente tabla nos indica el valor de estos activos.

TABLA 6.7

CONCEPTO	VALOR EN (Bs)
COSTO DE FABRICACION	350.00
ESTUDIO DEL PROYECTO	2800.00
TOTAL	3150.00

TOTAL

INVERSION TOTAL = Inversión fija + Inversión diferida

INVERSION TOTAL = 1994.00 + 3150.00

INVERSION TOTAL = 5144.00 Bolivianos

Cinco mil ciento cuarenta y cuatro Bolivianos

6.3 TIPO DE FINANCIAMIENTO

El financiamiento que se espera de aporte propio, y ayudas gubernamentales.

6.4 ANALISIS BENEFICIO Y COSTO

Como ya se detallo, la inversión total es de 5144.00 Bolivianos. La vida útil de la maquina es de 4 años. Para hacer este estudio es necesario el análisis de dos situaciones.

6.4.1 SITUACION SIN PROYECTO

Al no contar con el proyecto, el perjuicio se traduce en el mal funcionamiento de los equipos eléctricos, lo que disminuye su vida útil y lógicamente al adquirir otro nuevo repercute en una erogación de gastos mayores.

Como una referencia general damos algunos detalles de una población rural llamada Chálla, ubicada en la provincia Nor Yungas del departamento de La Paz, y que aloja dentro de sí a una población de aproximadamente 50 familias todas dedicadas a las actividades agropecuarias.

En esta comunidad se tiene una microcentral de las características del proyecto, donde la capacidad de generación es de 200 KVA, y una tensión de salida de 220/380 voltios.

Las mayores falencias se presentan en equipos que incluyen motores, ya sea monofásico, trifásico o universal, que son afectadas por la variación de frecuencia, y que luego esta repercute en variaciones de voltaje, que como sabemos origina un incremento de temperatura. Los equipos que se mencionan a continuación son los que usualmente se utilizan en esta población.

TABLA 6.8

COMPONENTES Y EQUIPOS	PRECIO ACTUAL (Bs)	INCREMENTO DE TEMPERATURA * (En equipos con motores a inducción)	PORCENTAJE DE DAÑO 25000 hr de vida util (motores) **	EROGACION DE GASTOS (Bs) ***
Pelador de café	1800.00	5 – 10 %	48 %	864.00
Molienda de Achiote	1500.00	5 – 10 %	48 %	720.00
Molienda de granos	1500.00	5 – 10' %	48 %	720.00
Bombas de agua	1500.00	5 %	48 %	720.00
Motores monofásicos	1250.00	5 – 10 %	48 %	600.00
Motores trifásicos	1700.00	5 – 10 %	48 %	816.00
Motores universales	100.00	5 – 10 %	48 %	48.00
Equipos informáticos ³⁹ (CPU).	2100.00	5 %	48 %	1008.00
Amoladoras	500.00	5 – 10 %	48 %	240.00
Esmeriladoras	350.00	5 – 10 %	48 %	168.00
Ventiladores	200.00	5 %	48 %	96.00
Refrigeradores	1500.00	5 – 10 %	48 %	720.00
Iluminación incandescente	10.00	(inestable)	(inestable)	
Iluminación Fluorescente	20.00	(inestable)	(inestable)	
TOTAL	14030.00			6720.00

Nota:

- * Tomamos un nivel promedio del 8 % de exceso de temperatura en los motores, según la regla de Montsinger⁴⁰ la vida útil se reduce aproximadamente en 48 %. (Ver ANEXO 10).
- ** Asumimos que la mayoría de los motores vienen para clase B, donde la temperatura de trabajo es de 120 ° C con una vida útil de 25000 hrs.
- *** La erogación de gastos, es el monto de dinero que se pierde al comprar otro equipo nuevo al reducirse su vida útil en un 48 %.

³⁹ Los equipos informáticos, como ser computadoras, tienen ventiladores, que al reducir su velocidad pueden producir efectos de sobrecalentamientos acortando la vida útil del equipo.

⁴⁰ PROTECCION DE MOTORES – Genius – (Fuente internet).

Para obtener el cálculo por año, consideramos un término medio de la vida de una maquina en aproximadamente 5 años.

EROGACION DE GASTO/año = 6720.00/5 años = 1344.00 Bs.

También influye en los gastos el salario que se paga a un operador que debe ir a diario a controlar en forma manual las distintas variaciones de frecuencia.

TABLA 6.9

SALARIOS (anual)	
OCUPACION	SALARIO/anual Bs.
Operador	12000.00
TOTAL	12000.00

SALARIO ANUAL = 12000.00 Bs

TOTAL GASTOS /año = 1344.00 + 12000.00 = 13344.00 Bs.

6.4.2 SITUACION CON PROYECTO

El objetivo de este proyecto es precisamente el de mitigar la erogación de gastos innecesarios de compras de equipos anticipadamente. Ya que al regular el caudal, llegamos a controlar la variación de la frecuencia, y con ella evitamos la presencia de perturbaciones eléctricas, las cuales como ya lo dijimos reducen la vida útil de las maquinas.

Por tales razones concluimos en que ya no existen gastos de erogación, ya que los equipos al no detectar perturbaciones eléctricas de origen de variación de frecuencia, tienden a mantener su vida útil conforme a su garantía de diseño.

TABLA 6.10

COMPONENTES Y EQUIPOS	PRECIO ACTUAL (Bs)	INCREMENTO DE TEMPERATURA (En equipos con motores a inducción)	PORCENTAJE DE DAÑO 25000 hr de vida útil (motores)	EROGACION DE GASTOS (anticipados) (Bs)
Pelador de café	1800.00	---	---	---
Molienda de Achiote	1500.00	---	---	---
Molienda de granos	1500.00	---	---	---
Bombas de agua	1500.00	---	---	---
Motores monofásicos	1250.00	---	---	---
Motores trifásicos	1700.00	---	---	---
Motores universales	100.00	---	---	---
Equipos informáticos ⁴¹ (CPU).	2100.00	---	---	---
Amoladoras	500.00	---	---	---
Esmeriladoras	350.00	---	---	---
Ventiladores	200.00	---	---	---
Refrigeradores	1500.00	---	---	---
Iluminación incandescente	10.00	---	---	---
Iluminación Fluorescente	20.00	---	---	---
TOTAL	14030.00	---	---	---

Un aspecto a considerar, en lo que se refiere al operador de maquinas, ya no es necesario que controle a diario, solamente cuando se lo requiera. Es así que el salario de este operador se disminuye notablemente.

⁴¹ Los equipos informáticos, como ser computadoras, tienen ventiladores, que al reducir su velocidad pueden producir efectos de sobrecalentamientos acortando la vida útil del equipo.

TABLA 6.11

SALARIO (anual)	
OCUPACION	SALARIO/anual Bs.
Operador	7200.00
TOTAL	7200.00

SALARIO ANUAL = 7200.00 Bs

TOTAL GASTO/año = 7200.00 Bs

6.5 CALCULO DE INGRESOS AL AÑO

TABLA 6.12

INGRESOS	
SITUACION	GASTO Bs.
Sin proyecto	13344.00
Con proyecto	7200.00
INGRESOS AL AÑO	6144.00

6.6 DEPRECIACION DE LA MAQUINA

Se pretende utilizar este proyecto por 3 años, luego se renovara con nueva tecnología actualizada, para entonces el equipo se habrá depreciado quedando al final un valor residual. Para obtener los resultados de depreciación, se utilizo el método de línea recta.

La depreciación anual calculamos de la formula:

$$\text{Depreciacion anual} = \frac{\text{Costo del activo} - \text{Valor residual}}{\text{Vida util}}$$

$$\frac{5144.00 - 1286.00}{3 \text{ años}}$$

DEPRECIACION ANUAL = 1286.00 Bs

TABLA 6.13

		DEPRECIACIÓN POR AÑO				VALOR RESIDUAL Bs.
	VALOR Bs.	0	1	2	3	
Regulador de caudal	5144.00	0	1286.00	1286.00	1286.00	1286.00

FLUJO DE CAJA

	0	1	2	3
Inversión Bs.	5144.00			
Ingresos Bs.		6144.00	6144.00	6144.00
Depreciación Bs.		1286.00	1286.00	1286.00
Valor residual Bs.				1286.00
FLUJO DE CAJA (Bs)	5144.00	4858.00	4858.00	6144.00

VAN_{20%} = 5833.5

TIR = 75 %

Beneficio/costo = 3.08

ANEXOS

ANEXO 1

PESO ESPECÍFICO DEL AGUA Y OTRAS SUSTANCIAS

PESO ESPECÍFICO DE LIQUIDOS

MATERIAL	PESO ESPECIFICO kg/m ³
Agua	1000
Gasolina	750
Petróleo	800
Acido sulfúrico al 50 %	1.400
Acido nítrico al 40 %	1.250
Alcohol etílico	800

CARACTERISTICAS FISICAS DEL AGUA

- *Color: incolora*
- *Sabor: insípida*
- *Olor: inodoro*
- *Densidad: 1 g./c.c. a 4°C*
- *Punto de congelación: 0°C*
- *Punto de ebullición: 100°C*
- *Presión crítica: 217,5 atm.*
- *Temperatura critica: 374°C*
- *Peso especifico 1000 Kg/cm³.*

ANEXO 2

RELACIÓN ENTRE VELOCIDAD Y DIÁMETRO PARA UN TUBO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

TUBOS DE POLIETILENO (PRESIÓN NOMINAL 10 AT.)				
Diámetro exterior [mm]	Diámetro interior [mm]	Velocidad del agua [m/s]	Caudal Q [lt/s]	Potencia para altura Neta 100m [kW]
32	26.2	0.6	0.3	0.2
40	32.6	0.7	0.3	0.4
50	40.8	0.8	1.0	0.7
63	51.4	0.9	1.8	1.3
75	61.4	1.0	3.0	2.1
90	73.6	1.2	5.1	3.6
110	90.0	1.4	8.9	6.2
125	102.2	1.5	12.3	8.6
140	114.6	1.6	16.5	12
160	130.8	1.8	24	17
180	147.2	2.0	34	24
200	163.6	2.1	44	31
225	184.0	2.3	61	43
250	204.6	2.4	79	55

ANEXO 3

VELOCIDADES DE SINCRONISMO QUE ACCIONAN A LAS TURBINAS HIDRÁULICAS.

Nº de pares de polos	Velocidad en rpm	Nº de pares de polos	Velocidad en rpm
40	75.0	28	107.1
38	78.9	26	115.4
36	83.3	24	125
34	88.2	23	130.4
32	93.8	22	136.4
30	100.0	20	150

Nº de pares de polos	Velocidad en rpm	Nº de pares de polos	Velocidad en rpm
18	166.7	8	375
16	187.5	7	428.6
14	214.3	6	500
13	230.8	5	600
12	250.0	4	750
10	300	2	1500

$$n = \frac{60 * f}{P}$$

Donde:

n = Número de revoluciones por minuto (r.p.m.).

f = Frecuencia del sistema 50 períodos por segundo (p.p.s).

P = Número de pares de polos del alternador (Pe mayúscula).

60 = Segundos en un minuto.

ANEXO 4

MANEJO DE POTENCIA CON EL INTEGRADO L293D

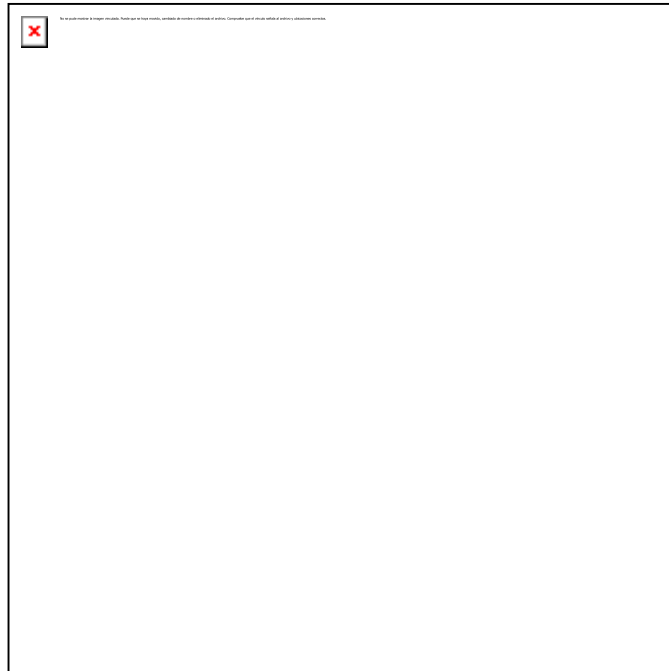
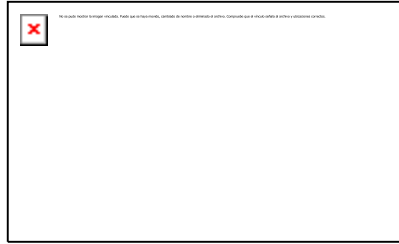


Diagrama de pines

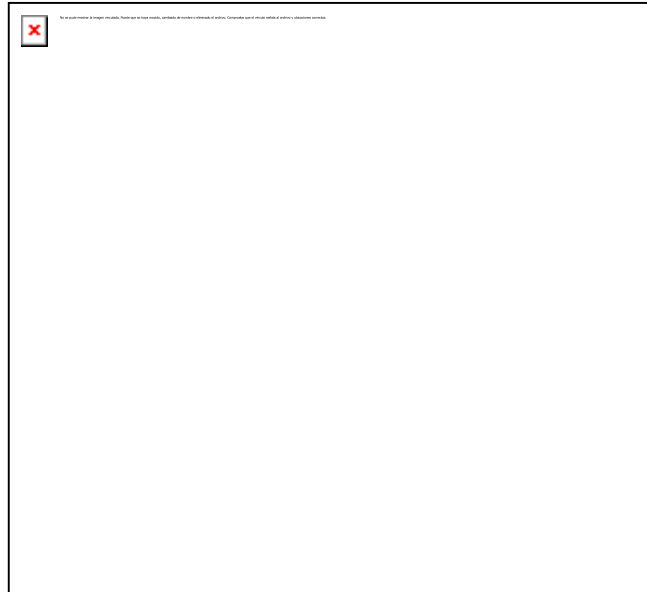
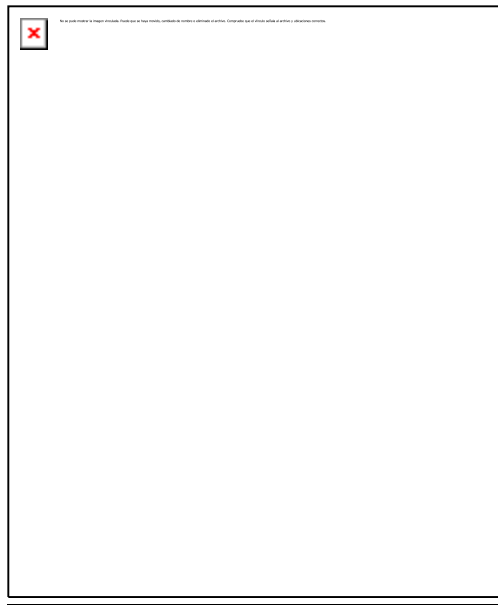
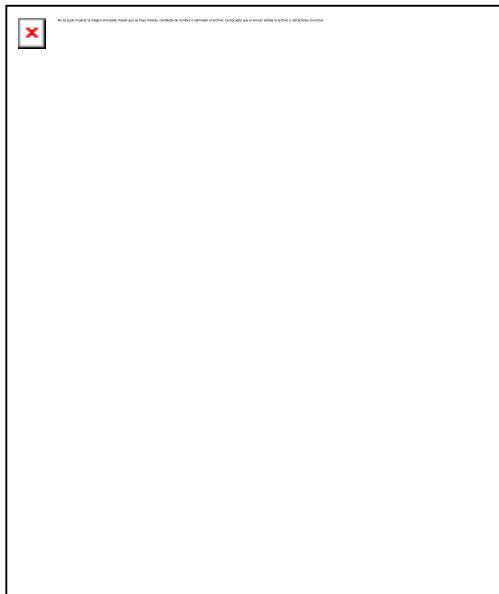


Diagrama simplificado

CONFIGURACION INTERNA DE LOS TRANSISTORES

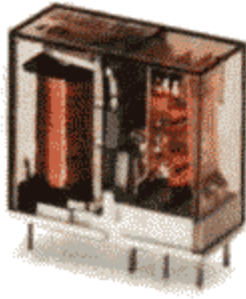
En esta estructura, unos transistores en configuración Darlington conducen la pata de salida a tierra y otro par de transistores en conexión seudo Darlington aporta la corriente de alimentación desde **VCC2**. Las salidas tienen diodos incorporados en el interior del chip para proteger al circuito de manejo de potencia de las contracorrientes de una carga inductiva.





ANEXO 5

VARIEDAD DE RELES



RELE DE ARMADURAS



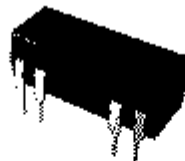
RELE DE ARMADURAS



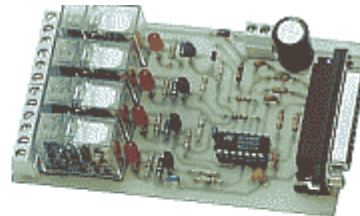
RELE REED



RELE EN
ENCAPSULADO
TIPO DIP



RELE EN
ENCAPSULADO
TIPO DIP



APLICACION DE
LOS RELES COMO
MODULOS DE INTERFACE

ANEXO 6

DISEÑO DE LA TARJETA (puente H)

DISTRIBUCION DE LOS ELEMENTOS EN LA TARJETA

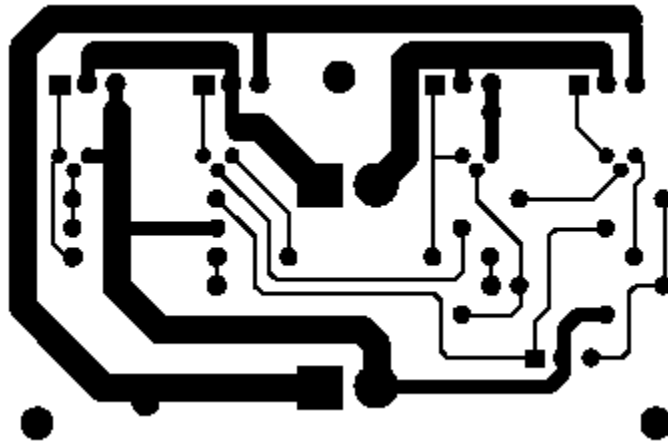


Figura a)

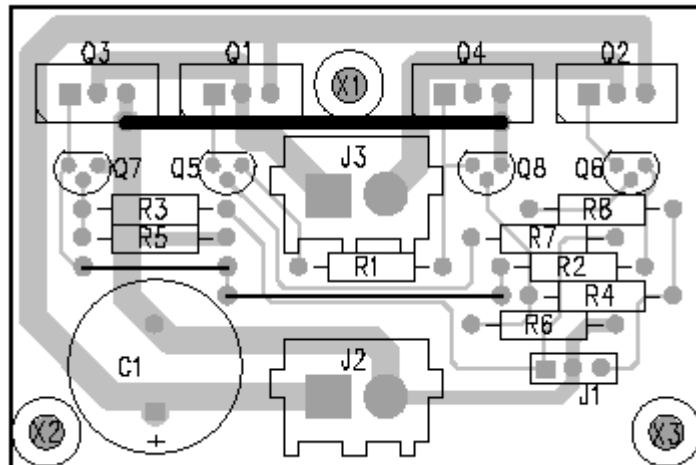
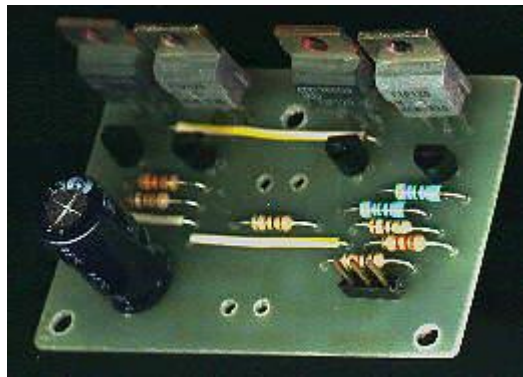


Figura b)

Finalmente mostramos el circuito final obtenido después de ser armado sobre una placa electrónica, donde se ven claramente los componentes utilizados y repartidos sobre la superficie de la placa.



ANEXO 7

SISTEMA DE CONTROL EMPLEANDO EL REGULADOR DE WATT

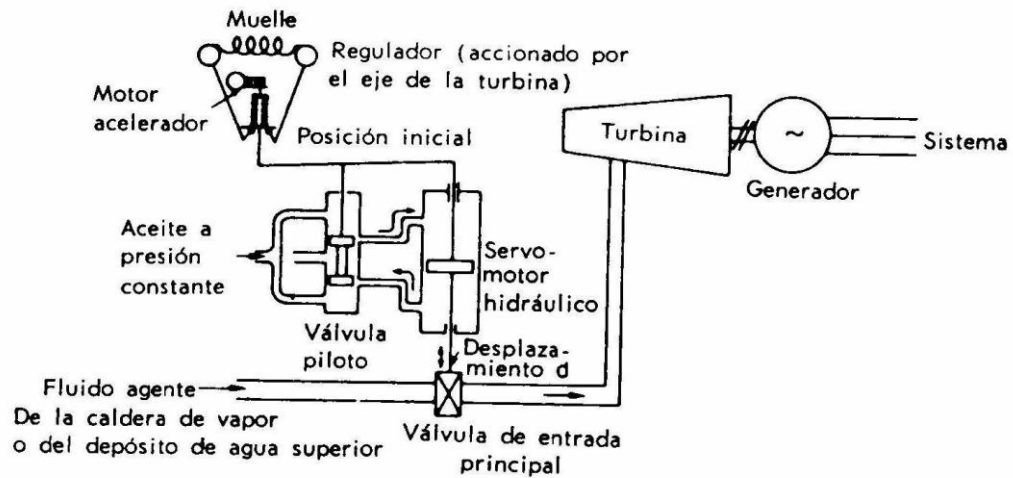


Figura (a)

El regulador se emplea como dispositivo sensible y un servosistema hidráulico para hacer funcionar la válvula de alimentación principal. Los mecanismos del motor acelerador determinan el ajuste inicial de la posición del regulador.

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE MONTAJES DE CONTROL AUTOMÁTICO

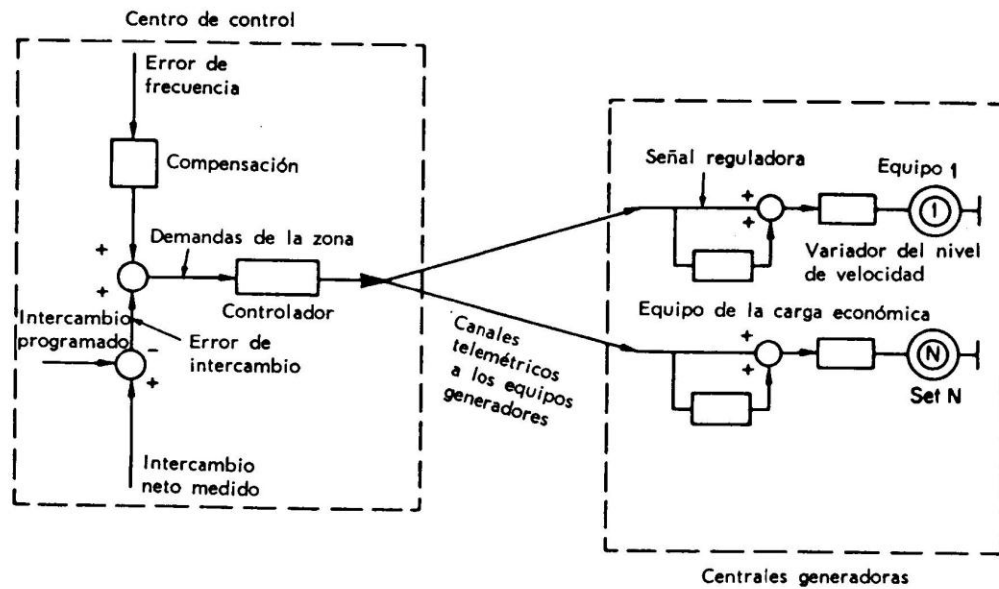


Figura (b)

En este caso, tienen en cuenta la frecuencia, los flujos de potencia de las líneas de enlace y la carga económica de las instalaciones generadoras.

ANEXO 8

LÍMITES DE LA FRECUENCIA EN LAS TURBINAS ELECTRICAS DE VAPOR

TABLA 8.1

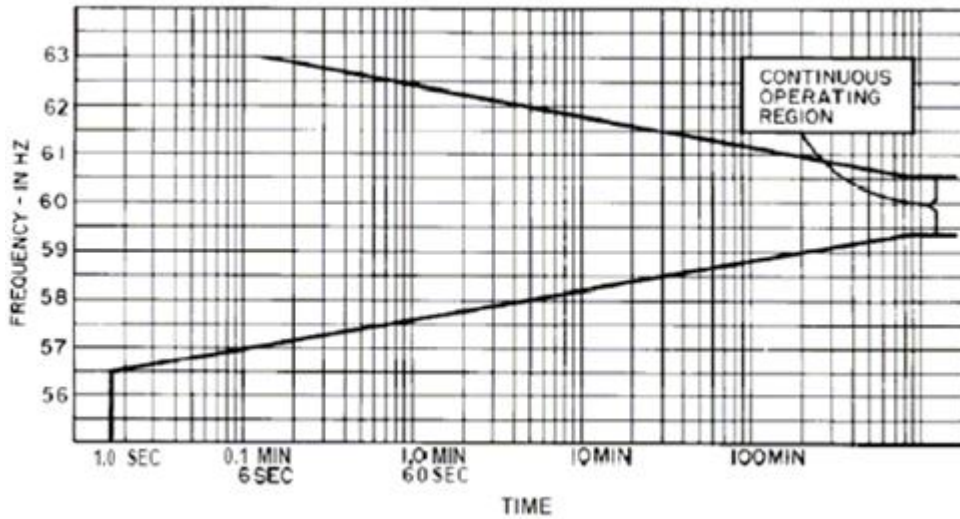
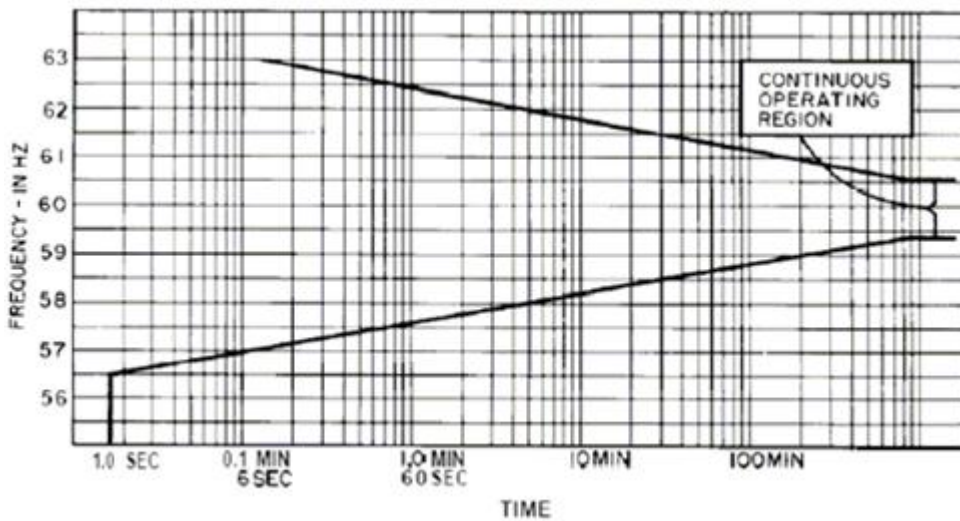


TABLA 8.2



LIMITES DE EXPOSICION A LA VARIACION DE FRECUENCIA

TABLA 8.3

Rango de Frecuencia (Hz)	Tiempo máximo de exposición (*) (minutos)
59,4 – 60,6	Operación continua
58,5 – 61,5	30
58,2 – 61,7	10
58,0 – 62,0	4
57,7 – 62,2	2
57,4 – 62,6	0,5

Los tiempos son acumulativos. Una exposición durante 1/2 minuto a plena carga con una frecuencia de 57,7 Hz, le dejará solo 1,5 minutos para poder operar en esta condición en el resto de la vida de esta unidad.

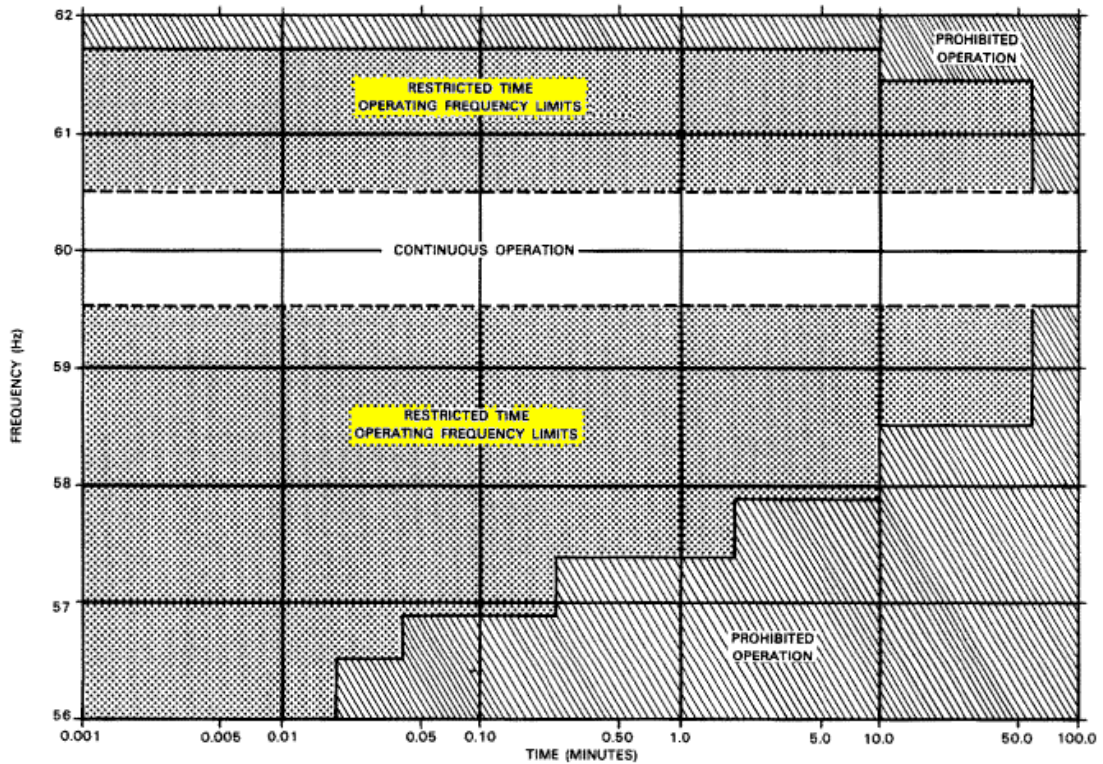


Figura a)
Zonas Límite de operación de turbina de vapor.

ANEXO 9

AISLAMIENTO DE BOBINADO EN LOS MOTORES

Los sistemas de aislamiento de los bobinados se clasifican de conformidad con su capacidad térmica de soporte. Para los motores que operan a tensiones menores o iguales que 600 Voltios generalmente encontramos sistemas de aislamiento que van desde la clase B hasta clase R como se muestra en la siguiente tabla:

CLASE DE AISLAMIENTO	TEMPERATURA DE SOPORTE (°C)
B	130
F	155
H	180
R	200 o mas

Clasificación térmica de los aislamientos.

En los motores accionados con variadores de velocidad, los aislamientos más comunes son los de las clases térmicas F y H. El punto importante es que estos sistemas no son estándar ya que en estas aplicaciones los devanados están expuestos a voltajes transitorios máximos y repetitivos, como también elevadas diferencias de tensión (dv/dt) los que a su vez ocasionaran diferentes efectos negativos a la vida útil del aislamiento.

AISLAMIENTO PARA MOTORES ACONDICIONADOS

Los motores que vienen acondicionados para soportar las variaciones de frecuencia y que no sufran daños debido a lo expuesto anteriormente (capítulo III - 3.4.5), usualmente presentan las siguientes modificaciones:

- Materiales Aislantes para alta temperatura.
- Mayor cantidad de amarres fuertes y encintado en las vueltas finales de las bobinas.
- Más de un barnizado.
- Para el bobinado se usan hilos de cobre con diámetros mayores los que son preferidos a los de diámetros menores.
- Hilo de cobre con rigidez dieléctrica muy alta y que soportan mayores tensiones.
- Aislamientos extras colocados al final de las vueltas de las bobinas y entre las ranuras y fases del devanado.

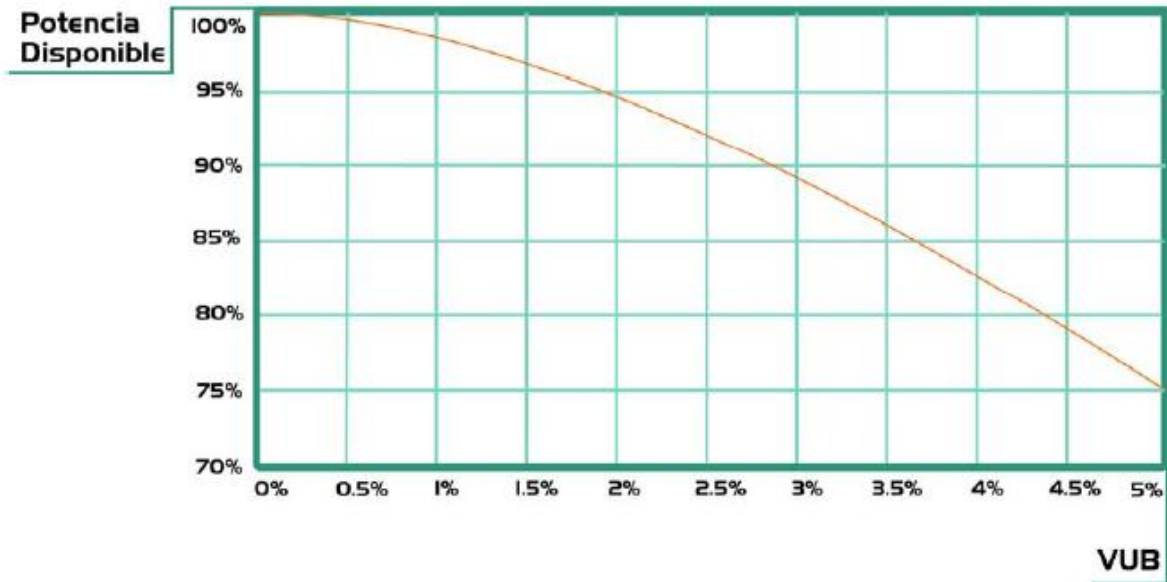
No es recomendable que se usen motores convencionales o estándar para las aplicaciones mencionadas, ya que se corre el riesgo de que su vida útil se acorte debido a los efectos nocivos de las altas conmutaciones y descargas Corona en los devanados, etc.

ANEXO 10

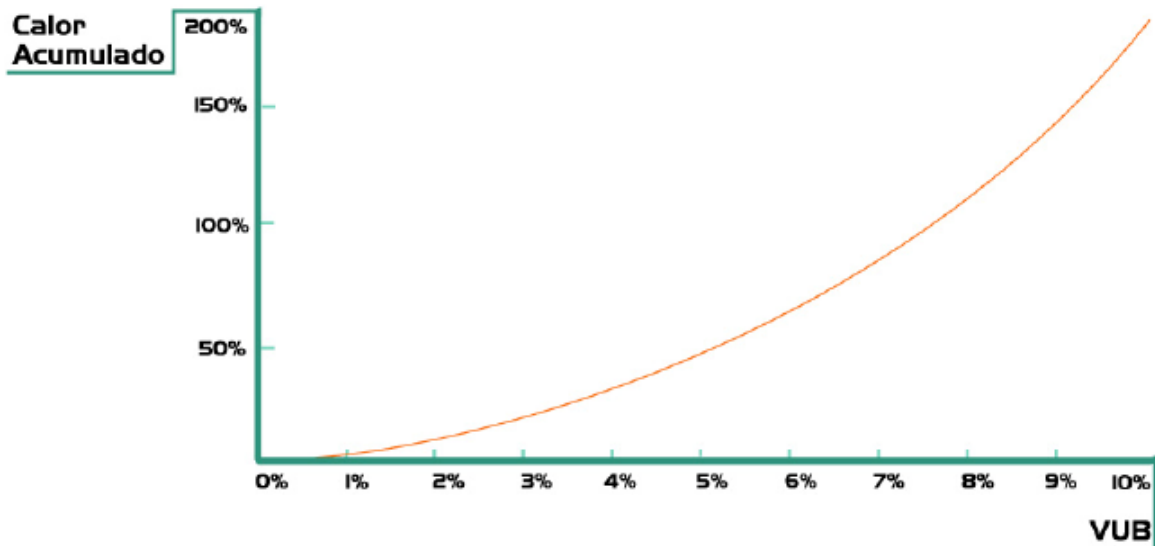
CONSECUENCIAS DEL DESBALANCE DE VOLTAJE EN EL MOTOR ELECTRICO

El principal problema que provocará el desbalance de voltaje (VUB) a un motor eléctrico en marcha, es el aumento de la temperatura del motor. Ello, debido a la aparición de corrientes de secuencia negativa en sus arrollados. Estas corrientes, producirán un campo electromagnético contrario al que impulsa el sentido de giro que posee el motor. Este campo electromagnético contrario, provocara una pérdida de la potencia relativa del motor y dicha perdida se convertirá en más calor para los arrollados.

TABLA 10.1



Un desbalance de voltaje (VUB) del 5% provocara una pérdida de la potencia relativa del 25% y un aumento del calor presente en los arrollados del motor. El aumento del calor deteriorará de manera progresiva y acumulativa dichos arrollados y en consecuencia disminuirá la vida útil del motor. El porcentaje de sobrecalentamiento del motor será directamente proporcional a dos veces el cuadrado del porcentaje de desbalance de voltaje (VUB).

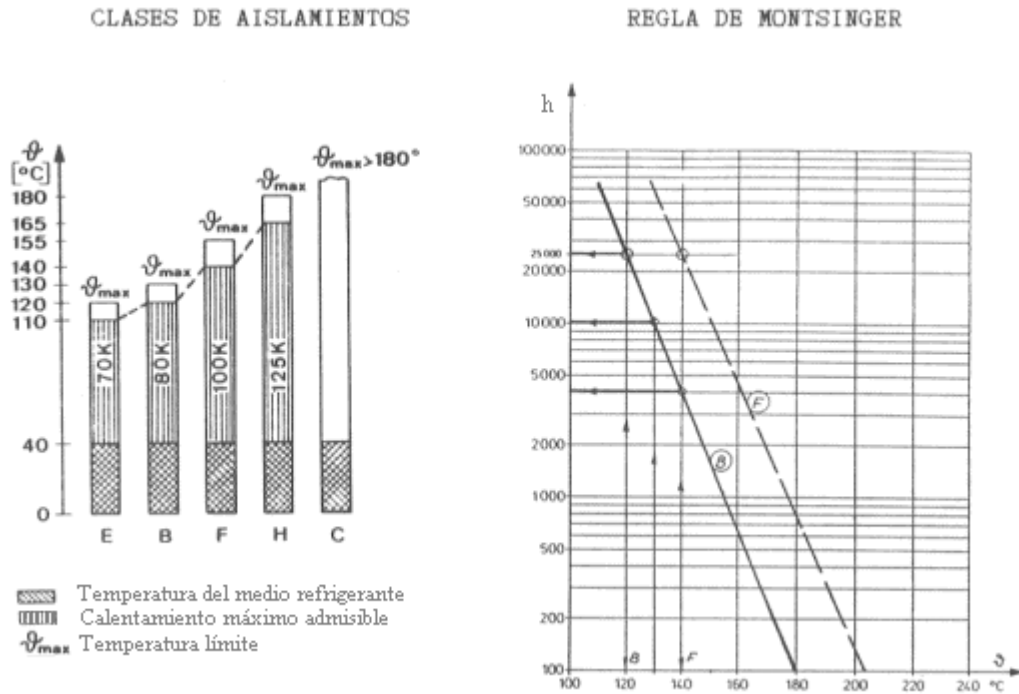
TABLA 10.2

Un desbalance de voltaje (VUB) del 5% provocara una pérdida de la potencia relativa del 25% y un aumento del calor presente en los arrollados del motor. El aumento del calor deteriorará de manera progresiva y acumulativa dichos arrollados y en consecuencia disminuirá la vida útil del motor. El porcentaje de sobrecalentamiento del motor será directamente proporcional a dos veces el cuadrado del porcentaje de desbalance de voltaje (VUB).

CONSECUENCIAS DEL EXCESO DE TEMPERATURA EN EL MOTOR

Los motores se dimensionan normalmente para una vida teórica del orden de 25.000 horas de servicio (aproximadamente 10 años) con el aislamiento sometido a una temperatura máxima admisible en permanencia (p.e. 120°C para clase B). Cuando se sobrepasa esta temperatura, la vida del motor se reduce según una regla generalmente aceptada, llamada regla de Montsinger.

TABLA 10.3



Según esta regla, cuando a un motor se le hace trabajar en permanencia a 10°C por encima de su temperatura límite (p.e. 130°C para clase B), su vida se reduce aproximadamente a la mitad, de 25.000 horas a 10.000 horas, y si se le hace trabajar a 20°C más, su vida se reduce aproximadamente a la quinta parte, es decir, a unas 4.500 horas.

ANEXO 11

MOTORREDUCTORES (Línea IGNIS)⁴²

MOTORES – MICROMOTORES

- **Corriente de alimentación:**
 - Corriente Continua (12 o 24 VCC)
 - Monofásicos (220 VCA - 50 Hz)
 - Trifásicos (220/380 VCA)
 - Especiales a pedido
- **Velocidad:** Entre 1250 y 6500 RPM
- **Potencia:** Hasta 0,5 Hp

CAJA REDUCTORA

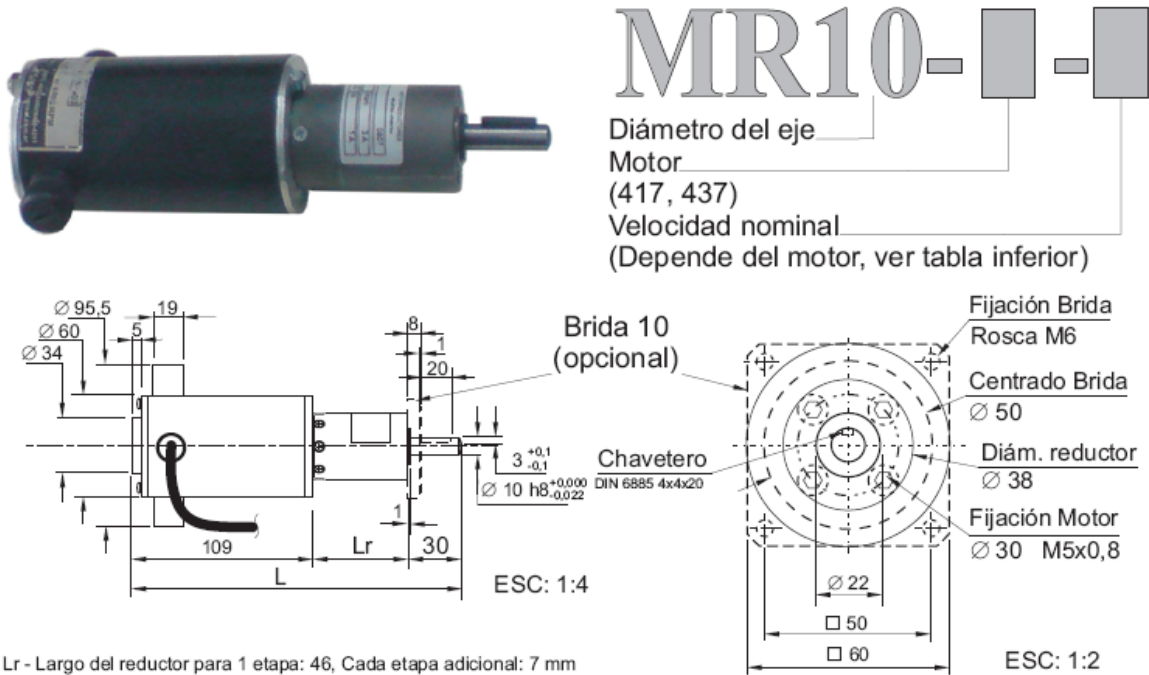
- **Velocidad:** Entre 0,05 y 1600 RPM
- **Torque:** Hasta 500 kgf.cm / 50 N.m
- **Potencia:** Hasta 0,5 Hp
- **Material:** Metal o plástico

FUENTES DE ALIMENTACIÓN

- 12 VCC - 1 A
- 24 VCC - 5 A
- 24 VCC - 10 A



⁴² Teléfono / Fax: (+54) (11) 4838-0333 / 4709-3011 / 4838 -0649 Dirección: Peru 115 Villa Martelli - Buenos Aires (Argentina)
(B1603CIC) Mail: comercial@ignis.com.ar



Lr - Largo del reductor para 1 etapa: 46, Cada etapa adicional: 7 mm

General

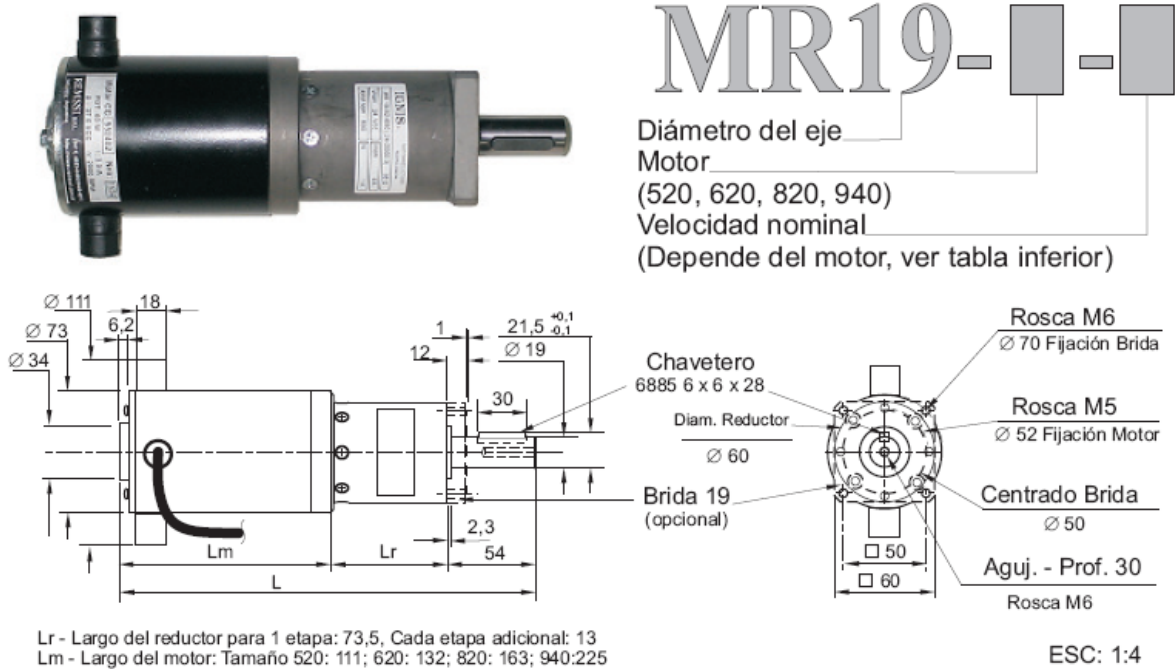
Tensión Nominal 27,4 Vcc
 Cupla de rotura 300 kgf*cm
 Juego Libre (Backlash) menor a 2°
 Velocidad min / max 20% / 200 % Vel.Nom
 Rendimiento aproximado por etapa 95 %
 Cupla Arranque / Bloqueo (aprox.) = Cupla nominal * 4
 Velocidad Vacío (aprox.) = Velocidad Nominal + 15%
 * Se pueden fabricar a pedido, motorreductores con 6 o 7 etapas

Solicitaciones del Eje

Compresión - Tracción 20 Kgf
 Esfuerzo Axial Máximo 20 Kgf
 Momento Flexor Máximo 3,0 Kgf.m
 Origen: Argentina

				Modelo	
MR - Eje - Motor - VEL				MR10-417-VEL	MR10-437-VEL
Servicio				Larga duración	Normal
Potencia entrada [W] . Potencia Salida [HP]				0,052 . 0,039	0,085 . 0,076
Tensión nominal [VCC]				24	
Io (Intensidad vacío). Inom (nominal). Is (arranque/bloqueo) [A]				0,9 . 2,0 . 6,0	1,1 . 3,5 . 13
RPM Nom . RPM Vacío				1700 . 2000	3700 . 4000
Peso . Adicional por etapa [Kg]				1,46 . 0,050	1,5 . 0,050
Etapas	Desmultiplicación	Engranajes	Cupla [Kgf.cm]	VELOCIDAD [RPM]	
0	1:1	0	1,64	1700	3700
1	4:1	4	6,57	425	925
1	6:1	6	9,86	283	617
2	16:1	44	26,28	106	231
2	24:1	64	39,42	71	154
2	36:1	66	59,13	47	103
3	64:1	444	100,00	27	58
3	96:1	644	"	18	39
3	144:1	664	"	12	26
3	216:1	666	"	7,9	17
4	256:1	4444	"	6,6	14
4	384:1	6444	"	4,4	10
4	576:1	6644	"	3,0	6,4
4	864:1	6664	"	2,0	4,3
5	1024:1	44444	"	1,7	3,6
5	1536:1	64444	"	1,1	2,4
5	2304:1	66444	"	0,7	1,6
5	3456:1	66644	"	0,5	1,1
5	5184:1	66664	"	0,3	0,7
5	7776:1	66666	"	0,2	0,5

Considerando que se necesite accionamientos con mayores cuplas, se tiene también la siguiente alternativa según catalogo:



Lr - Largo del reductor para 1 etapa: 73,5, Cada etapa adicional: 13
Lm - Largo del motor: Tamaño 520: 111; 620: 132; 820: 163; 940:225

General

Tensión Nominal 24 VCC
Cupla de rotura 800 kgf*cm menor a 2°
Juego Libre (Backlash) menor a 2°
Cupla Arranque / Bloqueo (aprox.) = Cupla nominal * 4
Velocidad Vacío (aprox.) = Velocidad Nominal + 15%
Rendimiento aproximado por etapa 95 %

Solicitaciones del Eje

Compresion - Traccion 200 Kgf
Esfuerzo Axial Máximo 200 Kgf
Momento Torsor Máximo 10 Kgf.m
Momento Flexor Máximo 25 Kgf.m

Origen: Argentina

		Modelo						
MR - Eje - Motor - VEL		MR19-520-VEL	MR19-620-VEL	MR19-820-VEL	MR19-940-VEL			
Servicio		Larga duración			Intermitente			
Potencia [Hp]		0,0675	0,1215	0,2160	0,3510			
Tensión nominal [VCC]		24						
Io(Int.vació).Inom(nominal).Is(arranq./bloq.) [A]		1,0 . 2,5 . 19	1,5 . 4,5 . 27	1,5 . 8,0 . 50	3,0 . 13 . 150			
RPM Nom . RPM Vacío (motor)		2000 . 2500						
Peso . Adicional por etapa [Kg]		2,80 . 0,25	3,40 . 0,25	3,90 . 0,25	6,50 . 0,250			
Etapas	Desmult	Engr.	VEL [RPM]	Cupla [Kgf*cm]		VEL [RPM]	Cupla [Kgf*cm]	
0	1:1	0	2000	2,7	3,6	7,1	4000	9,2
1	2,9:1	3	667	8,0	10,7	21,4	1333	27,5
1	4:1	4	500	10,6	14,3	28,6	1000	36,7
1	6:1	6	333	15,9	21,4	42,8	667	55,1
2	8,4:1	33	222	23,9	32,1	64,2	444	82,6
2	11,6:1	43	167	31,8	42,8	85,7	333	110,1
2	16:1	44	125	42,4	57,1	114,2	250	146,8
2	24:1	64	83	63,6	85,7	171,3	167	220,3
2	36:1	66	56	95,4	128,5	257,0	111	330,4
3	46,5:1	443	42	127,3	171,3	342,6	83	440,5
3	64:1	444	31	169,7	228,4	456,8	63	500,0
3	96:1	644	21	254,5	342,6	500,0	42	"
3	144:1	664	14	381,8	500,0	"	28	"
3	216:1	666	9,3	500,0	"	"	19	"
4	256:1	4444	7,8	"	"	"	16	"
4	384:1	6444	5,2	"	"	"	10	"
4	576:1	6644	3,5	"	"	"	6,9	"
4	864:1	6664	2,3	"	"	"	4,6	"
4	1296:1	6666	1,5	"	"	"	3,1	"

ANEXO 12

CATALOGO FESTO

Detectores de proximidad SIE..., inductivo



Cuadro general de productos

Ejecución	Tipo	Tensión de funcionamiento	Salida de conexión / Salida analógica	Tipo de montaje	Tamaño	→ Página/ Internet
Factor de reducción en función del material						
Distancia normalizada de conmutación	SIEN Tipo básico	10 ... 30 V DC 15 ... 34 V DC	PNP NPN	Enrasado Sin enrasar	∅ 4 mm, M5, ∅6,5 mm, M8, M12, M18, M30	5
	SIEN-...-PA Cuerpo de poliamida	10 ... 30 V DC	PNP NPN	Enrasado Sin enrasar	M12, M18, M30	11
	SIED Tipo básico	20 ... 265 V AC 20 ... 320 V DC	Sin contacto, bifilar	Enrasado Sin enrasar	M12, M18, M30	14
	SIED-...-PA Cuerpo de poliamida	20 ... 250 V AC 10 ... 300 V DC	Sin contacto, bifilar	Enrasado Sin enrasar	M12, M18, M30	19
	SIES Ejecución especial	10 ... 30 V DC	PNP NPN	Enrasado	5x5x25 mm ... 40x40x120 mm	22
	Mayor distancia de detección	SIEH Tipo básico	10 ... 30 V DC 15 ... 34 V DC	PNP NPN	Enrasado	∅ 3 mm, M12, M18
SIEH-...-CR Cuerpo de acero inoxidable		10 ... 30 V DC	PNP NPN	Enrasado	M12, M18	30
Salida analógica	SIEA	15 ... 30 V DC	0 ... 10 V y 4 ... 20 mA	Enrasado	M8, M12, M18, M30	33
Factor de reducción 1 para todos los metales, resistente a campos magnéticos en zonas de soldadura						
Mayor distancia de detección	SIEF Tipo básico	10 ... 30 V DC	PNP NPN	Enrasado Enrasado parcial	M8, M12, M18, M30 40x40x65 mm	36
	SIEF-...-WA Cuerpo resistente a salpicaduras de soldadura	10 ... 65 V DC	PNP NPN	Enrasado Enrasado parcial	M12, M18, M30,	42

Detectores de proximidad SIE..., inductivo

FESTO

Referencia

		SIE	N	M	30	NB	P	S	K	L	
Tipo											
SIE	Detector de proximidad inductivo										
Función											
A	Con salida analógica										
D	Para corriente continua y alterna										
F	Con factor de reducción 1 para todos los metales, resistente a campos magnéticos en zonas de soldadura										
H	Con distancia mayor de detección										
N	Con distancia de detección normal										
S	Ejecución especial										
Forma											
-	Redondo										
M	Rosca métrica										
Q	Forma rectangular										
V3	Forma rectangular										
Tamaño											
Tipo de montaje											
B	A ras										
NB	Sin enrasar										
S	A ras										
Salida eléctrica											
P	Salida PNP										
N	Salida NPN										
Z	Salida de 2 contactos										
PU	Salida analógica 0 ... 10 V										
UI	Salida analógica 0 ... 10 V y 4 ... 20 mA										
Funcionamiento del elemento de maniobra											
S	Contacto normalmente abierto										
O	Contacto normalmente cerrado										
A	Antivalente										
Conexión eléctrica											
K	Cable										
S	Conector tipo clavija										
X	Bornes roscados										
Indicador											
-	Sin indicador										
L	Estado de conmutación										
2L	Estado de conmutación y dispuesto para el funcionamiento										
Ejecución											
-	Estándar										
CR	Cuerpo de acero inoxidable										
PA	Cuerpo de poliamida										
WA	Cuerpo resistente a salpicaduras de soldadura										

Detectores de proximidad SIEN, inductivo

Hoja de datos: distancia de detección normalizada, tipo básico

Salida, más datos							
Tamaño	4 mm	M5	6,5 mm	M8	M12	M18	M30
Resistencia a cortocircuitos	Sincronizado						
Circuito protector inductivo	Incorporada						
Protección contra tensión inductiva	Incorporada						

Parte electrónica							
Tamaño	4 mm	M5	6,5 mm	M8	M12	M18	M30
Tensión de funcionamiento [V DC]	10 ... 30					15 ... 34	
Ondulación residual [%]	10			±10		10	
Intensidad en reposo [mA]	≤ 10					≤ 30	
Protección contra polarización inversa	En todas las conexiones eléctricas						

Electromecánica							
Tamaño	4 mm	M5	6,5 mm	M8	M12	M18	M30
Cable							
Conexión eléctrica	Cable trifilar						
Longitud del cable [m]	2,5						
Material del recubrimiento del cable	PUR						
Conector tipo clavija							
Conexión eléctrica	Conector tipo clavija M8x1, 3 contactos	Conector tipo clavija M8x1, 3 contactos	Conector tipo clavija M8x1, 3 contactos	Conector tipo clavija M8x1, 3 contactos	Conector tipo clavija M12x1, 3 contactos	Conector tipo clavija M12x1, 3 contactos	Conector tipo clavija M12x1, 3 contactos
Material del recubrimiento del cable	PUR			-			

Parte mecánica												
Tamaño	4 mm	M5	6,5 mm	M8	M12	M18	M30					
Tipo de fijación	Con fijación por apriete	Con tuerca	Con fijación por apriete	Con tuerca			Con tuerca					
Tipo de montaje	Enrasado			Enrasado	Sin enrasar	Enrasado	Sin enrasar	Enrasado	Sin enrasar	Enrasado	Sin enrasar	
Par de apriete [Nm]	-	2	-	-			25		50			
Cable												
Peso del producto [g]	48	48	45	53	110	90	120	170				
Información sobre el material del cuerpo	Acero de aleación fina, inoxidable				Latón cromado		Latón niquelado					
	-	PA	-	PBT	-							
	-	-	-	PBT	-							
Conector tipo clavija												
Peso del producto [g]	9	9	4	18	18	30	25	40	40	100	100	
Información sobre el material del cuerpo	Acero de aleación fina, inoxidable					-		-				
Información sobre el material del cuerpo	-			Latón cromado				Latón niquelado				
	-			PA				-				
	-			PBT				-				

Indicación / utilización	
Indicación de estado de conmutación	LED amarillo

Detectores de proximidad SIEN, inductivo

FESTO

Hoja de datos: distancia de detección normalizada, tipo básico

Recepción/emisión							
Tamaño	4 mm	M5	6,5 mm	M8	M12	M18	M30
Temperatura ambiente con cableado móvil [°C]	-		-5 ... +70		-		-
Clase de protección	-		IP65		-		
	IP67		IP67		IP67		
Clase de resistencia a la corrosión ¹⁾	-		2		-		

1) Clase de resistencia a la corrosión 2 según norma de Festo 940 070
Válida para piezas expuestas a moderado peligro de corrosión. Piezas exteriores en contacto directo con sustancias usuales en entornos industriales, tales como disolventes, detergentes o lubricantes, con superficies principalmente decorativas.

Ocupación de los contactos del conector tipo clavija, según EN 60947-5-2												
M8x1, 3 contactos				M1 2x1, 3 contactos				M1 2x1, 3 contactos				
Normalmente abierto/Normalmente cerrado				Contacto normalmente abierto				Contacto normalmente cerrado				
	Pin	Color del hilo	Asignación		Pin	Color del hilo	Asignación		Pin	Color del hilo	Asignación	
	1	Marrón	+		1	Marrón	+		1	Marrón	+	
	3	Azul	-		3	Azul	-		3	Azul	-	
	4	Negro	Salida		4	Negro	Salida		2	Blanco	Salida	

Dimensiones: M12 Datos CAD disponibles en www.festo.com

Montaje enrasado		Montaje saliente	
Cable	Conector tipo clavija	Cable	Conector tipo clavija

1 Cable de conexión

2 Superficie activa

3 Diodo luminoso

4 4 diodos luminosos

Detectores de proximidad SIEN, inductivo

FESTO

Hoja de datos: distancia de detección normalizada, tipo básico

Referencias								
Tamaño	S _n ¹⁾ [mm]	Tipo de montaje	Salida conmutada	Funcionamiento del elemento de maniobra	Conexión eléctrica			
					Cable		Conector tipo clavija	
Nº art.	Tipo	Nº art.	Tipo					
M12								
	2,0	Enrasado	PNP	Contacto normalmente abierto	150402	SIEN-M12B-PS-K-L	150403	SIEN-M12B-PS-S-L
				Contacto normalmente cerrado	150406	SIEN-M12B-PO-K-L	150407	SIEN-M12B-PO-S-L
			NPN	Contacto normalmente abierto	150400	SIEN-M12B-NS-K-L	150401	SIEN-M12B-NS-S-L
				Contacto normalmente cerrado	150404	SIEN-M12B-NO-K-L	150405	SIEN-M12B-NO-S-L
	4,0	Sin enrasar	PNP	Contacto normalmente abierto	150410	SIEN-M12NB-PS-K-L	150411	SIEN-M12NB-PS-S-L
				Contacto normalmente cerrado	150414	SIEN-M12NB-PO-K-L	150415	SIEN-M12NB-PO-S-L
			NPN	Contacto normalmente abierto	150408	SIEN-M12NB-NS-K-L	150409	SIEN-M12NB-NS-S-L
				Contacto normalmente cerrado	150412	SIEN-M12NB-NO-K-L	150413	SIEN-M12NB-NO-S-L

ANEXO 13



Bulletin No. PAXI-C
Drawing No. LP0487
Revised 4/01

MODEL PAXI-1/8 DIN COUNTER/RATE PANEL METER



UL Recognized Component,
File # E179259



- 6-DIGIT LED DISPLAY (Alternating 8 digits for counting)
- DUAL COUNT QUAD INPUTS
- RATE INDICATION
- UP TO 3 COUNT DISPLAYS OR A SERIAL SLAVE
- PROGRAMMABLE SCALE FACTORS
- PROGRAMMABLE FUNCTION KEYS / USER INPUTS
- FOUR SETPOINT ALARM OUTPUTS (W/Plug-in card)
- COMMUNICATIONS AND BUS CAPABILITIES (W/Plug-in card)
- ANALOG OUTPUT SIGNAL (W/Plug-in card)
- PC SOFTWARE AVAILABLE FOR METER CONFIGURATION
- NEMA 4X/IP65 SEALED FRONT BEZEL

DESCRIPCIÓN GENERAL

El PAXI (contra PAX / Votar Grupo Metro), ofrece muchas características y rendimiento para adaptarse a una amplia gama de aplicaciones industriales. El Plug-in de opciones de tarjetas permiten la posibilidad de configurar el medidor para las presentes aplicaciones, al tiempo que facilita las actualizaciones de las necesidades futuras.

El metro PAXI acepta entradas digitales de una variedad de fuentes, incluyendo cambiar los contactos, las salidas de los circuitos TTL o CMOS, magnético y todas las camionetas RLC sensores estándar. El contador puede aceptar direccional, uni-direccional o cuadratura señales simultáneamente. La máxima señal de entrada varía hasta 34 KHz dependiendo de la función y el modo de contar con configuraciones programadas. Cada señal de entrada puede ser independiente a escala para diversos valores de proceso.

El medidor proporciona seis diferentes indicaciones pantalla. Estos incluyen contra A contra B, contra el C (o esclavo de pantalla), Tasa de Tasa máxima (alta) y Tasa mínima (Low). Un contador y / o contra el B indican los correspondientes de entrada del valor. Contra el C indica la suma o diferencia entre Contador A y B, contra los valores o puede ser programado para ser un esclavo de pantalla de serie. El Tasa de pantalla puede ser programado para mostrar la velocidad de la contra o contra un B. La máxima y mínima muestra puede indicar los picos y valles de la programable con velocidad de captura de veces para evitar la detección de falsos.

Annunciators indicar que la pantalla se muestra.

Teclas del panel frontal y tres entradas de usuario son programables para realizar varios metros funciones. Una de las funciones que incluye el intercambio de parámetro listas, lo que permite duplicar el número de punto de ajuste programable, factor de escala y contar con valores de carga.

El medidor puede tener hasta cuatro salidas de punto, determinado por el plug-in tarjetas. El plug-in de ofrecer tarjetas de doble FORMA-C relés (5A), quad FORMA-A relés (3A), o bien en quad o quad hundimiento abastecimiento lógica salidas de colector abierto. Los productos pueden ser asignados a cualquiera de las cuatro pantallas. Los resultados también pueden ser independientemente configurados para adaptarse a gran variedad de requisitos de control y alarma

Una señal de salida lineal DC está disponible como un plug-in de la tarjeta. La tarjeta dispone o bien 20 mA o 10 V señales. La salida analógica se puede asignar a cualquiera de las seis pantallas y es escalable.

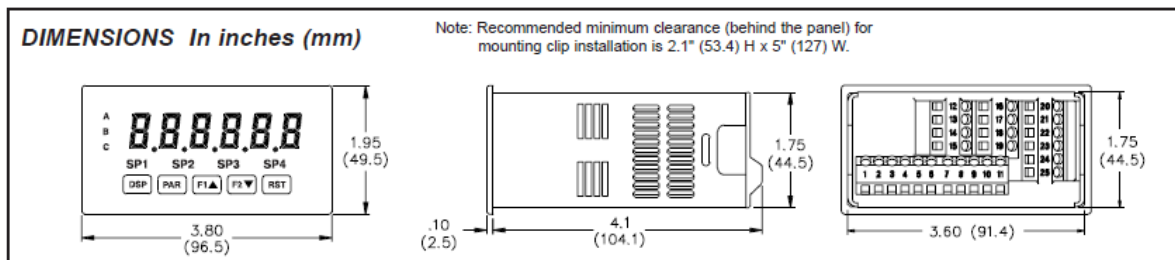
Tarjetas plug-in también puede proporcionar comunicaciones serie. Estos incluyen RS232, RS485 y MODBUS. Mostrar valores, punto de consigna de alarma y valores de punto de consigna estados puede ser controlado a través de la serie de bucles. Con la tarjeta de comunicaciones instalado, es posible configurar el medidor con un equipo con Windows

El contador de datos de configuración se pueden guardar en un archivo para su posterior recuperación.

Una vez que el medidor ha sido configurado inicialmente, la lista de parámetros pueden ser bloqueado a partir de la modificación total o el punto de consigna, el factor de escala y contar con valores de carga puede hacerse accesible. Este cierre es posible a través de un código de seguridad o del usuario.

El medidor ha sido diseñado específicamente para entornos industriales severos.

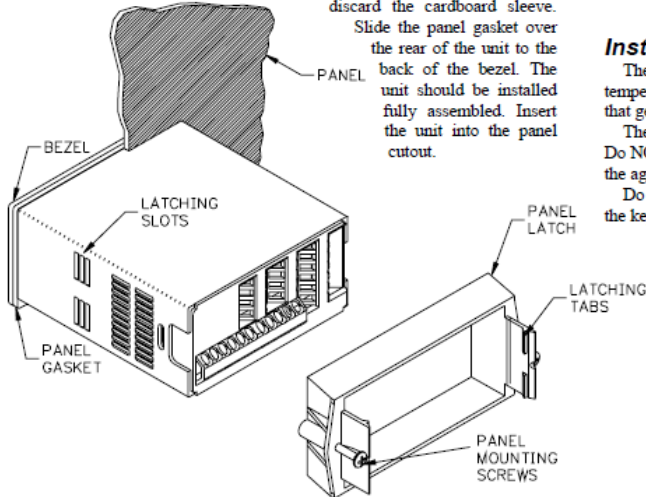
Con un bisel NEMA 4X/IP65 sellado y extensas pruebas para cumplir con CE requisitos, el medidor proporciona una resistente y fiable solución de aplicación.



1.0 INSTALLING THE METER

Installation

The PAX meets NEMA 4X/IP65 requirements for indoor use when properly installed. The unit is intended to be mounted into an enclosed panel. Prepare the panel cutout to the dimensions shown. Remove the panel latch and cardboard sleeve from the unit and discard the cardboard sleeve.



While holding the unit in place, push the panel latch over the rear of the unit so that the tabs of the panel latch engage in the slots on the case. The panel latch should be engaged in the farthest forward slot possible. To achieve a proper seal, tighten the latch screws evenly until the unit is snug in the panel (Torque to approximately 7 in-lbs [79N-cm]). Do not over-tighten the screws.

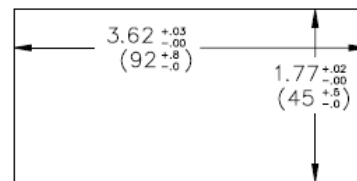
Installation Environment

The unit should be installed in a location that does not exceed the operating temperature and provides good air circulation. Placing the unit near devices that generate excessive heat should be avoided.

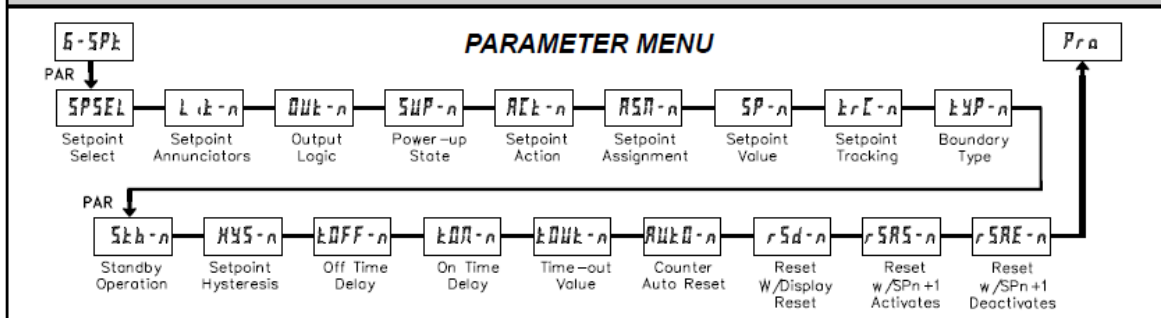
The bezel should only be cleaned with a soft cloth and neutral soap product. Do NOT use solvents. Continuous exposure to direct sunlight may accelerate the aging process of the bezel.

Do not use tools of any kind (screwdrivers, pens, pencils, etc.) to operate the keypad of the unit.

PANEL CUT-OUT



6.6 MODULE 6 - Setpoint (Alarm) Parameters (6-SPt)



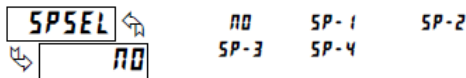
Module 6 is the programming for the setpoint (alarms) output parameters. To have setpoint outputs, a setpoint Plug-in card needs to be installed into the PAXI (see Ordering Information). Depending on the card installed, there will be two or four setpoint outputs available. This section replaces the bulletin which comes with the setpoint plug-in card. Please discard the separate literature when using the Plug-in card with the PAXI. For maximum input frequency, unused Setpoints should be configured for OFF action.

The setpoint assignment and the setpoint action determine certain setpoint feature availability. The chart below illustrates this.

SETPOINT PARAMETER AVAILABILITY

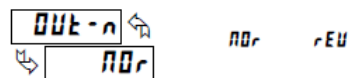
PARAMETER	DESCRIPTION	RATE			COUNTER		
		TIMED OUT tOUT	BOUNDARY bOUNd	LATCH LAtCH	TIMED OUT tOUT	BOUNDARY bOUNd	LATCH LAtCH
LtE-n	Annunciators	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
OUt-n	Output Logic	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
SUP-n	Power Up State	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
SP-n	Setpoint Value	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
tRE-n	Setpoint Tracking	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
tYP-n	Boundary Type	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No
Stb-n	Standby Operation	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No
HYS-n	Setpoint Hysteresis	No	Yes	No	No	No	No
tOFF-n	Setpoint Off Delay	No	Yes	No	No	No	No
tON-n	Setpoint On Delay	Yes	Yes	Yes	No	No	No
tOUt-n	Setpoint Time Out	Yes	No	No	Yes	No	No
RUtR-n	Counter Auto Reset	No	No	No	Yes	No	Yes
rSd-n	Reset With Display Reset	No	No	No	Yes	No	Yes
rSR5-n	Reset When SPn+1 Activates	No	No	No	Yes	No	Yes
rSRE-n	Reset When SPn+1 Deactivates	No	No	No	Yes	No	Yes

SETPOINT SELECT



Select a setpoint (alarm output) to open the remaining module menu. (The "n" in the following parameters will reflect the chosen setpoint number.) After the chosen setpoint is programmed, the display will default to SPSEL 00. Select the next setpoint to be programmed and continue the sequence for each setpoint. Pressing PAR at SPSEL 00 will exit Module 6.

SETPOINT OUTPUT LOGIC *



Normal (NOR) turns the output "on" when activated and "off" when deactivated. Reverse (rEU) turns the output "off" when activated and "on" when deactivated.

SETPOINT ANNUNCIATORS*



OFF disables the display of the setpoint annunciator. Normal (NOR) displays the corresponding setpoint annunciator of an "on" alarm output. Reverse (rEU) displays the corresponding setpoint annunciator of an "off" alarm output. FLASH flashes the corresponding setpoint annunciator of an "on" alarm output.

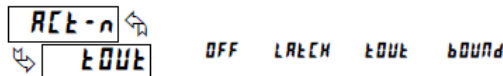
SETPOINT POWER UP STATE *



SRAE will restore the output to the same state it was at before the meter was powered down. ON will activate the output at power up. OFF will deactivate the output at power up.

* Factory Setting can be used without affecting basic start-up.

SETPOINT ACTION

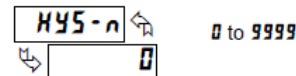


OFF: When not using a setpoint, it should be set to OFF (no action).

For Counter Assignments:

- LAtCH** With Latch action, the setpoint output activates when the count value equals the setpoint value. The output remains active until reset. This action is not associated with Boundary types.
- bOUNd** With boundary action, the setpoint output activates when the count value is greater than or equal to (for tYP = HI) or less than or equal to (for tYP = LO) the setpoint value. The setpoint output will deactivate when the count value is less than (for tYP = HI) or greater than (for tYP = LO) the setpoint value.
- tOUt** With Timed Out action, the setpoint output activates when the count value equals the setpoint value and deactivates after the Time Out value. This action is not associated with Boundary types.

SETPOINT HYSTERESIS *



The hysteresis value is added to (for tYP = LO), or subtracted from (for tYP = HI), the setpoint value to determine at what value to deactivate the associated setpoint output. Hysteresis is only available for setpoints assigned to the Rate with boundary action.

SETPOINT OFF DELAY *



This is the amount of time the Rate display must meet the setpoint deactivation requirements (below hysteresis for high acting and above hysteresis for low acting) before the setpoint's output deactivates.

For Rate Assignments:

- LATCH** With Latch action, the setpoint output activates when the rate value is equal to the setpoint value. The setpoint output remains active until reset. If after reset, the rate value is greater than or equal to (for $\text{LYP} = H I$) or less than or equal to (for $\text{LYP} = L D$) the setpoint value, the output will reactivate.
- BOUND** With Boundary action, the setpoint output activates when the rate value is greater than or equal to (for $\text{LYP} = H I$) or less than or equal to (for $\text{LYP} = L D$) the setpoint value. The setpoint output will deactivate (Auto reset) as determined by the hysteresis value.
- TOUk** With Timed Out action, the setpoint output cycles when the rate value is greater than or equal to (for $\text{LYP} = H I$) or less than or equal to (for $\text{LYP} = L D$) the setpoint value. The Setpoint Time Out (tOUt-n) and Setpoint On Delay (tON-n) values determine the cycling times.

SETPOINT ASSIGNMENT

RSn-n R CkE b CkE C CkE r RkE
 R CkE

Select the display that the setpoint is to be assigned.

SETPOINT VALUE

SP-n -99999 to 999999
 100

Enter the desired setpoint value. Setpoint values can also be entered in the Quick Programming Mode when the setpoint is configured as **EkE** in Module 3. (See Module 2 for Exchange Parameter Lists explanation.)

SETPOINT TRACKING *

trE-n NO SP-1 SP-2 SP-3
 NO SP-4 RkEld bEkEld CkEld

If a selection other than NO is chosen, then the value of the setpoint being programmed ("n") will track the entered selection's value. Tracking means that when the selection's value is changed (in the Quick Programming Mode), the "n" setpoint value will also change (or follow) by the same amount.

SETPOINT BOUNDARY TYPE

LYP-n HI LD
 LD

HI activates the output when the assigned display value (**RkE-n**) equals or exceeds the setpoint value. **LD** activates the setpoint when the assigned display value is less than or equal to the setpoint.

SETPOINT STANDBY OPERATION *

Stb-n YES NO
 NO

Selecting **YES** will disable low acting setpoints at a power up until the display value crosses into the alarm "off" area. Once in the alarm "off" area, the setpoint will function according to the configured setpoint parameters.

SETPOINT RESET WHEN SPn+1 ACTIVATES *

rSR5-n YES NO
 NO

Select **YES**, so the setpoint output will deactivate (reset) when $SP_n + 1$ activates. (Example: SP_1 deactivates when SP_2 activates and SP_4 when SP_1 activates.) The last setpoint will wrap around to the first.

SETPOINT ON DELAY *

tON-n 000 to 9999 seconds
 000

This is the amount of time the Rate display must meet the setpoint activation requirements (below setpoint for $\text{LYP} = L D$ and above setpoint for $\text{LYP} = H I$) before the setpoint's output activates. If the Rate Setpoint Action is Timed Out, this is the amount of time the output is off during the on / off output cycling.

SETPOINT TIME OUT *

tOUt-n 000 to 9999 seconds
 000

If the setpoint action is Timed Out and the setpoint is assigned to Rate, then this is the amount of time the output is on during the on / off output cycling. If the setpoint action is Timed Out and the setpoint is assigned to Count, then this is the amount of time the output will activate once the count value equals the setpoint value.

COUNTER AUTO RESET *

RUEt-n NO ZERDRS CLDRS
 NO ZERDRE CLDRE

This automatically resets the display value of the Setpoint Assignment (**RSn-n**) counter each time the setpoint value is reached. This reset may be different than the Counter's Reset Action (**xrESEt**) in Module 1 or 5.

SELECTION	ACTION
NO	No auto reset.
ZERDRS	Reset to zero at the start of output activation.
CLDRS	Reset to count load value at the start of output activation.
ZERDRE	Reset to zero at the end of output activation. (tOUt action only).
CLDRE	Reset to count load value at the end of output activation. (tOUt action only).

SETPOINT RESET WITH DISPLAY RESET *

rSd-n YES NO
 NO

Select **YES**, so the setpoint output will deactivate (reset) when the Setpoint Assignment (**RSn-n**) counter display resets. The only exception is if the assigned counter is reset by a Counter Auto reset generated by another setpoint.

* Factory Setting can be used without affecting basic start-up.

SETPOINT RESET WHEN SPn+1 DEACTIVATES *

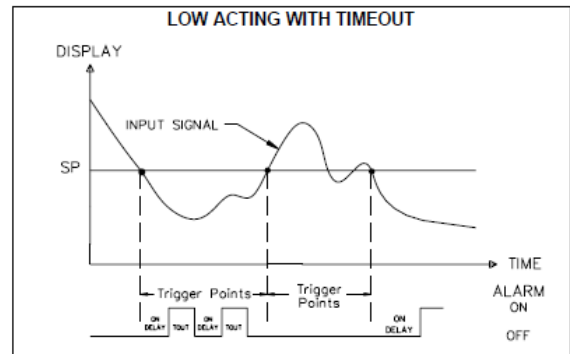
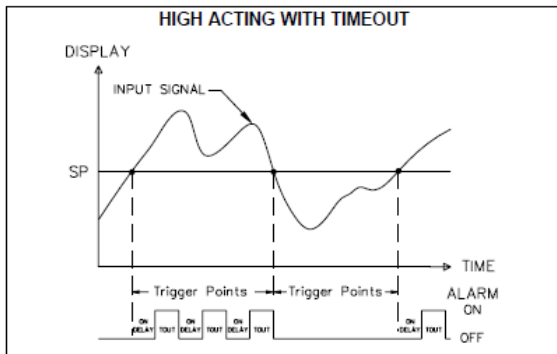
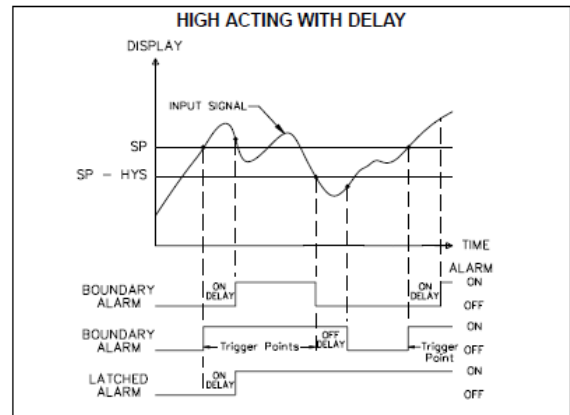
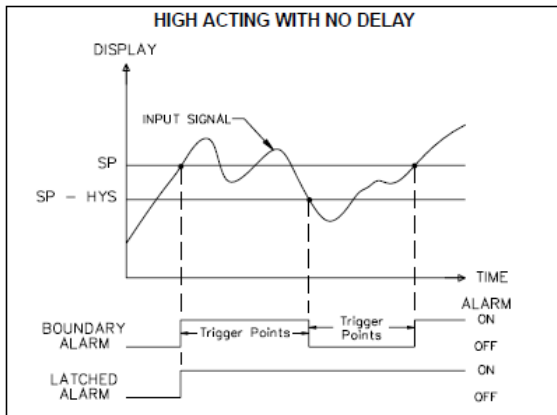
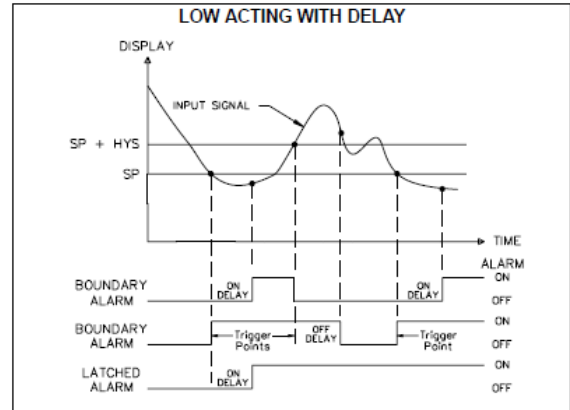
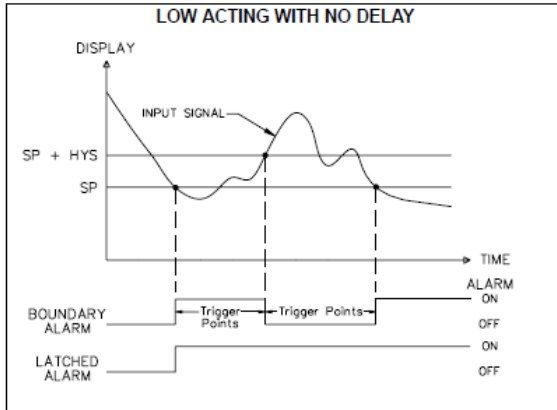
rSRE-n YES NO
 NO

Select **YES**, so the setpoint output will deactivate (reset) when $SP_n + 1$ activates and then times out (deactivates). This function may only be used if the $SP_n + 1$ is programmed for Setpoint Action of **tOUt**. (Example SP_1 deactivates when SP_2 is activated and then times out.) The last setpoint will wrap around to the first.

* Factory Setting can be used without affecting basic start-up.

SETPOINT (ALARM) FIGURES FOR RATE

(For Reverse Action, The Alarm state is opposite.)



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El contenido de este trabajo, es el resultado de una investigación experimental y teórica, de donde se obtienen datos muy importantes, acerca de la regulación primaria de caudal en la turbina hidroeléctrica de flujo transversal Mitchel Banky. La regulación de caudal se puede lograr de muchas maneras, pero debido a su alto precio de instalación, es considerado como algo difícil de alcanzar, aunque técnicamente si es posible. Es así que el sistema de regulación de la frecuencia se da en plantas de generación de mayor alcance. En la actualidad las microcentrales carecen de este recurso tan importante que debería gozar la población del área rural.

El contenido del proyecto, es una clara indicación, de que es posible tener un regulador de caudal a bajo costo en una microcentral hidroeléctrica, considerando las ventajas y desventajas posibles en comparación de las grandes centrales de generación, y de esta manera, poder llegar a dar un adelanto de mejoría en el suministro de la energía eléctrica, en el sector rural con mayor preferencia.

Realizando un análisis profundo en la sociedad rural que nos rodea podemos encontrar una cierta razón en sus demandas. Ya que la calidad de suministro de energía eléctrica en el sector rural está demostrada que es bastante baja, no obstante que en este sector, también predominan al igual que en el área urbana maquinarias, que se traducen en distintas actividades en el campo de trabajo y necesidades que pueden ser agrícolas, molinerías, aserraderos, etc.

RECOMENDACIONES

Se debería considerar que en el contexto del calentamiento climático global consensuado por los expertos del IPCC38, los regímenes hidrológicos de algunas zonas del país se podrían ver afectados, y por ende el agua superficial disponible podría disminuir. En casos extremos, las caídas de agua que permiten la generación de energía podrían tener un caudal muy variable, o podrían reducirse mucho. Esto limitaría el adecuado funcionamiento de las MCHs. Por ello, sería interesante hacer adaptaciones técnicas a los equipos previniendo dicha eventualidad. Además de considerar el desarrollo de una línea de base muy completa antes de la implementación de las obras físicas, e inclusive antes de determinar el emplazamiento de los equipos.

Se debería evaluar el impacto real en la mejora de calidad de vida, que ha tenido el acceso a la energía eléctrica en las poblaciones rurales. Con ello, se podría identificar qué capacidades sociales se han puesto en riesgo con el ingreso de esta innovación, cuáles son los usos más frecuentes de la energía, si ha contribuido o no a mejorar los niveles educativos, si el acceso a la información es suficiente o ha planteado nuevas necesidades, si genera cohesión social o divergencia, etc. Conociendo este marco, se podría plantear estrategias para reducir los impactos negativos, y dirigir las dinámicas sociales hacia una optimización de la oportunidad.

Los manuales y guías para hacer las refacciones en los equipos en caso de avería podrían estar en el idioma nativo local y con mucha ayuda gráfica, para facilitar el aprendizaje de los encargados del manejo de la central, o de quienes los sucederán en el futuro haciendo dichas labores.

Debería haber incentivo para los clientes que pagan puntualmente sus obligaciones. Así se promovería un sistema adecuado de finanzas institucionales.

Los proveedores de equipos (básicamente turbinas), tienen protocolos de instalación específicos, sin embargo, se deberían establecer mecanismos que aseguren una garantía

mayor en lo que concierne a la calidad de suministro eléctrico, a fin de minimizar las posibilidades de insatisfacción de los beneficiarios.

El proyecto, podría hacerse más sostenible si es transferido a una entidad financiera sólida y con mucha responsabilidad socio-ambiental. Todo ello, sin olvidar que debe haber políticas claras del Ministerio de Energía y Organismos afines para fomentar el desarrollo de las tecnologías alternativas en sectores rurales y por ende los sistemas crediticios que las hacen viables.

La capacidad del regulador de caudal debe estructurarse en directa relación con el potencial de uso residencial y productivo. La experiencia evaluada ha mostrado ya conflictos en torno al uso residencial y mixto, tanto en un nivel externo como al interior de las localidades, puesto que la necesidad de racionalizar y controlar el uso de energía se ha dado en todos los lugares. Esto implica definir si el objetivo es el crecimiento económico o la mejora de los medios de vida de la población; y en el caso de ser ambos esto debe orientar la capacidad de las microcentrales hidroeléctricas.

Es necesario también actuar en el empoderamiento de los beneficiarios capacitándolos en torno a los siguientes temas:

- Cultura del ahorro de energía.
- Conocimiento de las decisiones económicas en torno al cobro de tarifas.
- Cultura en área rural y desarrollo de mecanismos de fiscalización en el marco de trabajo de los Medios de Vida Sostenibles.

Así que ante ello, habría que planificar bien las estrategias de mitigación, monitoreo, contingencia y abandono, tal como lo indican las normas ambientales del país, e intentando ir aún más allá de lo exigido, para asegurar la calidad del servicio.

BIBLIOGRAFIA

- Ing. Carlos E. Albornoz
Microcentrales Hidroeléctricas
Recursos Naturales PARTE 3
- Daniel Murguerza
Microcentrales Hidroeléctricas
Pagina 47 de 81
- Ing. Juan Goñi Galarza
Fisica General
- Walter Brokering, 1975
Sistemas Eléctricos de Potencia
- ALLEN-BRADLEY
Sensores de Proximidad Inductivo. Catalogo.
- Carlos de la Rosa Sánchez,
Introducción a la Electrónica
- Ignacio Suñol Esquirol
Automatismos eléctricos.
- Nassir SAPAG CHAIN, Reinaldo SAPAG CHAIN
Preparación y Evaluación de Proyectos de Grado
Cuarta edición.