

**DISEÑO, CONSTRUCCION Y CARACTERIZACION
DE UNA VALVULA DE CONTROL DE PROCESOS
PARA GAS COMBUSTIBLE**

**CARLOS VARGAS MORAN
RICARDO ANDRES GARCIA VERGARA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2.004

**DISEÑO, CONSTRUCCION Y CARACTERIZACION
DE UNA VALVULA DE CONTROL DE PROCESOS
PARA GAS COMBUSTIBLE**

**CARLOS VARGAS MORAN
RICARDO ANDRES GARCIA VERGARA**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2.004

DEDICATORIA

A Dios,

A mis padres, hermanos y familiares por su apoyo y comprensión

A Carol Liliana por su paciencia.

A mis compañeros de carrera y amigos

CARLOS VARGAS MORAN

DEDICATORIA

A Dios,

A mis padres y hermana por su apoyo incondicional, paciencia y comprensión

A Ana Milena por su paciencia y colaboración.

RICARDO ANDRES GARCIA VERGARA

AGRADECIMIENTOS

A Omar Gélvez Arocha, ingeniero mecánico, director del proyecto y amigo, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna.

A Alfredo Acevedo ingeniero electrónico, profesor de la facultad de ingeniería electrónica de la UIS.

A Leonardo Quiroga, ingeniero electrónico, asesor y amigo por su colaboración.

A Fernando Corredor Neira ingeniero mecánico, programador y amigo.

A todos mis amigos.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. LOS PROCESOS INDUSTRIALES	3
1.1 HISTORIA.....	5
2. TEORIA DEL CONTROL.....	6
2.1 EL SISTEMA DE CONTROL.....	6
2.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CONTROL	8
2.2.1 SENSOR.....	8
2.2.2 CONTROLADOR	9
2.2.3 ELEMENTO FINAL DE CONTROL.	9
2.4 FUNCIONES DEL SISTEMA DE CONTROL	10
2.4.1 MEDICION	10
2.4.2 COMPARACION.....	10
2.4.3 COMPUTO	10
2.4.4 CORRECCION	10
2.5 ESTRUCTURAS TIPICAS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL.....	11
2.5.1 CONTROL DIGITAL SUPERVISORIO.	11
2.5.2 CONTROL DIGITAL DIRECTO.....	13
2.5.3 CONTROL DIGITAL DISTRIBUIDO.	15
2.6 ACCIONES DE CONTROL	17
2.6.1 CONTROL ON-OFF:	17
2.6.2 CONTROL PROPORCIONAL.....	18
2.6.3 CONTROL INTEGRAL Y DERIVATIVO	18
2.6.4 ACCION INTEGRAL.....	18
2.6.5 ACCION DERIVATIVA.....	18
2.6.6 ACCION PROPORCIONAL, INTEGRAL Y DERIVATIVA.	19
3. ACTUADORES	20
3.1 FUENTE DE POTENCIA:.....	20
3.2 CARACTERISTICAS DE PROTECCION CONTRA FALLAS:.....	20
3.3 CAPACIDAD DEL ACTUADOR:	21
3.4 TIPOS DE ACCIONAMIENTO DE LA VÁLVULA DE CONTROL .	21
4. VÁLVULAS DE CONTROL DE PROCESOS	23
4.1 TIPOS DE VALVULAS.....	24
4.2 VALVULAS DE BOLA	26
4.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA VÁLVULA DE BOLA.	27

4.3 CORROSION Y EROSION EN LAS VALVULAS	28
4.4 TABLA PARA SELECCIÓN DE MATERIALES EN VALVULAS DE BOLA	29
4.4. CARACTERIZACION DE LAS VALVULAS.....	32
4.4.1 CALCULO DEL C_v PARA LIQUIDOS Y VAPORES	32
4.4.1.1 SISTEMAS DE LÍQUIDOS.....	32
4.4.1.2 SISTEMAS DE VAPOR:.....	34
4.4.1.3 PARA VAPORES DIFERENTES DEL VAPOR DE AGUA..	35
4.5. RUIDO EN LAS VALVULAS DE CONTROL	36
5. DISEÑO DEL ACTUADOR.....	38
5.1.1. EFICIENCIA DEL TORNILLO SIN FIN	41
5.1.2 POTENCIA DE ENTRADA	43
5.1.3 CALCULO DEL TORQUE DE OPERACIÓN DEL ACTUADOR	43
5.1.4 CALCULO DEL TIEMPO DE APERTURA DEL ACTUADOR....	44
5.1.5 CALCULO DE FUERZAS EN EL TORNILO SIN FIN Y LA CORONA.....	45
5.1.5.1 POTENCIA DE ENTRADA	46
5.1.5.2 VELOCIDAD DEL TORNILLO	46
5.1.5.3 COEFICIENTE DE FRICCION ENTRE LA CORONA Y EL TORNILO SIN FIN.....	47
5.1.5.4 SELECCIÓN DEL TIPO DE RODAMIENTOS.....	48
5.2.1. GENERALIDADES.....	51
5.2.2 CONTROL ELECTRÓNICO LOCAL	52
5.2.2.1 MICROCONTROLADOR	53
5.2.2.2. SUBSISTEMA DE POTENCIA	56
5.2.2.3 SUBSISTEMA PARA LA CAPTURA DE LA SEÑAL DE CONTROL.....	57
5.2.2.4 SUBSISTEMA PARA LA SEÑAL DE RETROALIMENTACIÓN DEL SISTEMA (AMPLIFICADORES). .	58
5.2.2.5 SUBSISTEMA SEÑAL DE POSICION DEL SISTEMA (AMPLIFICADOR 2)	60
5.2.2.6 SUBSISTEMA PARA LA FUENTE DEL SISTEMA.....	61
5.2.3 CONTROL EXTERNO	64
5.2.3.1 SOFTWARE.....	65
5.3 ESPECIFICACIONES GENERALES VALVULA DE CONTROL DE PROCESOS PARA GAS COMBUSTIBLE.....	68
6. CARACTERIZACION DE LA VÁLVULA DE CONTROL	69
6.1 CARACTERISTICAS DE CAUDAL EFECTIVAS	69
6.2 CARACTERISTICAS DE FLUJO EN UNA VALVULA DE CONTROL	70
6.2.1 CARACTERISTICAS DE FLUJO LINEAL	71
6.2.2 CARACTERISTICAS DE IGUAL PORCENTAJE.....	71

6.2.3 CARACTERISTICA DE FLUJO DE APERTURA RAPIDA	72
7. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO	76
8. APLICACIONES DE LA VÁLVULA DE CONTROL.....	80
8.1 CALDERAS DE VAPOR	80
8.2 CONTROL DE COMBUSTION.....	81
8.3 CONTROL DE NIVEL	81
8.4 INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	82
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	86
BIBLIOGRAFÍA	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Intercambiador de calor.....	3
Figura 2. Bucle abierto de regulación.....	7
Figura 3. Bucle cerrado de regulación.....	7
Figura 4. Elemento final de control (Válvula de bola para control de flujo)	9
Figura 5. Ejemplo del control supervisorio en un proceso de temperatura y nivel.....	11
Figura 6. Ejemplo del control directo en un proceso de temperatura y nivel .	13
Figura 7. Ejemplo de control digital distribuido para un proceso de temperatura y nivel.....	16
Figura 8. Esquema del actuador.....	22
Figura 9. Diferentes tipos de válvulas de bola.....	26
Figura 10. Tabla para seleccionar los materiales de la válvula.....	30
Figura 11. Esquema de la transmisión mecánica	39
Figura 12. Par de engranajes dentados.....	40
Figura 13. Corona y el tornillo sin fin seleccionados del catalogo SDP-SI.....	41
Figura 14. Engranajes seleccionado catalogo sdp- si.....	45
Figura 15. Fuerzas que actúan en un tornillo sin fin.....	46
Figura 16. Rodamientos rígidos de bolas.....	50
Figura 17. Diagrama de funcionamiento del actuador	51
Figura 18. Esquema del control electrónico.....	52
Figura 19. Circuito etapa de potencia.....	57
Figura 20. Circuito para la captura de la señal de control.....	58
Figura 21. Señal de retroalimentación del sistema.....	60
Figura 22. Señal de posición.	61
Figura 23. Fuente del sistema.	62
Figura 24. Circuito completo del control electrónico.....	63
Figura 25. Tarjeta del control local del sistema.....	64
Figura 26. Pantalla principal controlador.....	65
Figura 27. Esquema del control externo.....	67
Figura 28. Esquema de la prueba.....	70
Figura 29. Curvas características de flujo.....	71
Figura 30. Curva característica de la válvula	75
Figura 31. Esquema prueba de funcionamiento	76

Figura 32. Temperatura de salida del intercambiador Vs porcentaje de apertura de la válvula.....	78
Figura 33. Comportamiento del PID	79
Figura 34. Control de nivel.	82
Figura 35. Intercambiador de calor.....	83

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 .Gravedad específica.	33
Tabla 2. Designación según SKF	49
Tabla 3 .Toma de datos 1.....	74
Tabla 4. Toma de datos 2.....	74

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A PLANOS	88
ANEXO B CATALOGO DE ENGRANAJES.....	104
ANEXO C CATALOGO DE COMPONENTES ELECTRICOS MOTOR Y POTENCIOMETRO	127
ANEXO D ALGORITMO DEL CONTROL PARA LA TEMPERATURA EN UN INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	130

NOMENCLATURA Ò GLOSARIO

NOTACIÓN

LETRAS GRIEGAS

C_v	Coeficiente de flujo de la válvula.
Q	Flujo en galones por minuto.
G	Gravedad específica del fluido.
ΔP	Caída de presión en la válvula en el PSI.
P_i	Presión absoluta en la entrada.
P_o	Presión a la salida en PSI.
Q	Caudal por hora de vapor.
V	Volumen específico.
T_s	Torque de operación del actuador.
N	Número de dientes.
d	Diámetro del tornillo sin fin.
n	Velocidad angular en RPM del tornillo sin fin.
n_g	Velocidad angular de la corona.
η	Eficiencia del tornillo sin fin corona.
η_{sistema}	Eficiencia total del sistema.
$\eta_{\text{e rectos}}$	Eficiencia de los engranajes rectos.
P_e	Potencia de entrada del actuador.
Φ_n	Angulo de presión nominal.
λ	Angulo de avance.
f	Coeficiente de fricción entre el tornillo sin fin y la corona.

ω_sVelocidad angular del eje de salida del actuador.

W_x Carga axial en la corona

W_z Carga tangencial

W_y Carga radial del sin fin y la corona

V_tVelocidad tangencial del tornillo sin fin.

V_s Señal de control

V_{in} Señal de control atenuada

V_i Tensión de retroalimentación.

V_{out} Tensión de retroalimentación.

k Constante

SUBÍNDICES

1,2,.. Se refiere al cuerpo que se está analizando.

c Fría.

e Externo.

h Caliente.

i Entrada

o Salida .

RESUMEN

TÍTULO:

DISEÑO, CONSTRUCCION Y CARACTERIZACION DE UNA VALVULA DE CONTROL DE PROCESOS PARA GAS COMBUSTIBLE

AUTORES:

Carlos Vargas Moran.

Ricardo Andrés García Vergara. **

PALABRAS CLAVES:

Procesos industriales, Válvula de control, Actuador, Control.

DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este proyecto es proporcionar a la industria colombiana de una válvula de control de procesos para gas combustible, en busca de una reducción de costos y el mejoramiento de la calidad de los productos que beneficie a pequeñas y medianas industrias.

La válvula para control de procesos consta de dos partes principales una válvula de bola de $\frac{3}{4}$ WOG, y un actuador electrónico. La válvula de bola se selecciono debido a sus ventajas como versatilidad y precisión en comparación con otro tipo de válvulas. El diseño del actuador se divide en dos etapas una transmisión mecánica y una tarjeta electrónica. Para la transmisión mecánica se utilizo una tren de engranajes acoplado a un tornillo sin fin-corona, la potencia es suministrada por un motor de corriente continua de esta forma se obtuvo una reducción de velocidad de 4320 obteniendo una velocidad de salida de 0.25 RPM y un torque de salida de 310 lb -in para mover la válvula de bola. La tarjeta electrónica es la encargada de realizar el control de posición esta utiliza un microcontrolador MCHC08JK3, el cual posee conversores análogos-digitales, suficiente disposición de puertos para el control del motor, baja relación señal a ruido y además es muy comercial. El algoritmo del programa del microcontrolador, se diseñó utilizando el software *CodeWarrior* el cual permite configurar el microcontrolador por medio del lenguaje C.

** Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Omar Gélvez.

El resultado es una válvula para control de procesos de gas combustible mucho más económica que sus similares, que garantiza la fácil consecución de sus componentes; dotada además de un sistema de protección contra fallas que permite el cierre automático de esta. Estas características hacen que la válvula de control de procesos sea una muy buena alternativa para la industria colombiana en su proceso de crecimiento y automatización en la búsqueda de mejorar su competitividad y calidad en sus productos.

SUMMARY

TITLE:

**DESIGN, CONSTRUCTION AND CHARACTERIZATION OF A VALVE
OF CONTROL OF PROCESSES FOR COMBUSTIBLE GAS**

AUTHORS:

Carlos Vargas Moran

Ricardo Andrés García Vergara. **

KEY WORDS:

Industrial processes, control Valve, Actuador, Control.

DESCRIPTION:

The objective of this project is to provide to the Colombian industry of a valve of control of processes for combustible gas, in search of a reduction of costs and the improvement of the quality of the products that it benefits to small and medium industries.

The valve for control of processes consists of two main parts a valve of ball of $\frac{3}{4}$ WOG, and an electronic actuador. The ball valve you selects due to their advantages like versatility and precision in comparison with another type of valves. The design of the actuador is divided in two stages a mechanical transmission and an electronic card. For the mechanical transmission you uses a train of gears coupled to a screw without end-crown, the power is given by a motor of continuous current this way a reduction of speed of 4320 it was obtained a speed of exit of 0.25 RPM and a torque of exit of 310 lb - in to move the ball valve. The electronic card is the one in charge of carrying out the position control this it uses a microcontrolador MCHC08JK3, which possesses converters similar-digital, enough disposition of ports for the control of the motor, low relationship sign to noise and it is also very

** Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Omar Gélvez.

commercial. The algorithm of the program of the microcontrolador, was designed using the software CodeWarrior" which allows configuring the microcontrolador by means of the language C.

The result is a valve for much more economic control of processes of combustible gas that it's similar ones that it guarantees the easy attainment of its components; gifted besides a protection system against flaws that it allows the automatic closing of this. These characteristics make that the valve of control of processes is a very good alternative for the Colombian industry in its process of growth and automation in the search of improving its competitiveness and quality in their products

INTRODUCCIÓN

La necesidad actual de ahorrar energía y mejorar los diferentes procesos industriales, nos ha llevado a plantear soluciones que involucren dentro los procesos sistemas de control automático.

En los procesos industriales se usan a menudo intercambiadores de calor en donde se deben controlar algunos valores constantes como lo es la temperatura. Una manipulación manual de esta variable, mediante el manejo de válvulas nos proporcionan un control bastante difícil de llevar a lo largo de jornadas largas de un proceso; situación que en la actualidad llevaría a ocasionar pérdidas de tiempo y por supuesto de dinero.

Ninguna de las situaciones anteriores es deseable. El estudiante debe conocer y crear una conciencia de los problemas que trae consigo un control manual de un proceso que día a día son aun mas complejos, así como también debe saber los beneficios que trae un control Automático del mismo.

La escuela de Ingeniería Mecánica, cuenta con un laboratorio de plantas térmicas, donde se han realizado diferentes proyectos tendientes a mejorar su operación, automatizando su funcionamiento con el objetivo de mostrar a la comunidad estudiantil el aprovechamiento de nuevas tecnologías y además enseñando lo que se puede lograr integrando un proceso mecánico con la electrónica y un software de control.

Para ver el comportamiento de la válvula de control dentro de un proceso propiamente dicho se instaló en una línea principal de vapor proveniente de la caldera del laboratorio de plantas térmicas hacia el intercambiador de calor; para el control de la temperatura se cuenta con un programa concebido para tal efecto.

Este texto sea estructurado buscando un conocimiento progresivo de lo que es una válvula de control, su sistema de control y los aportes hechos al diseño de la misma.

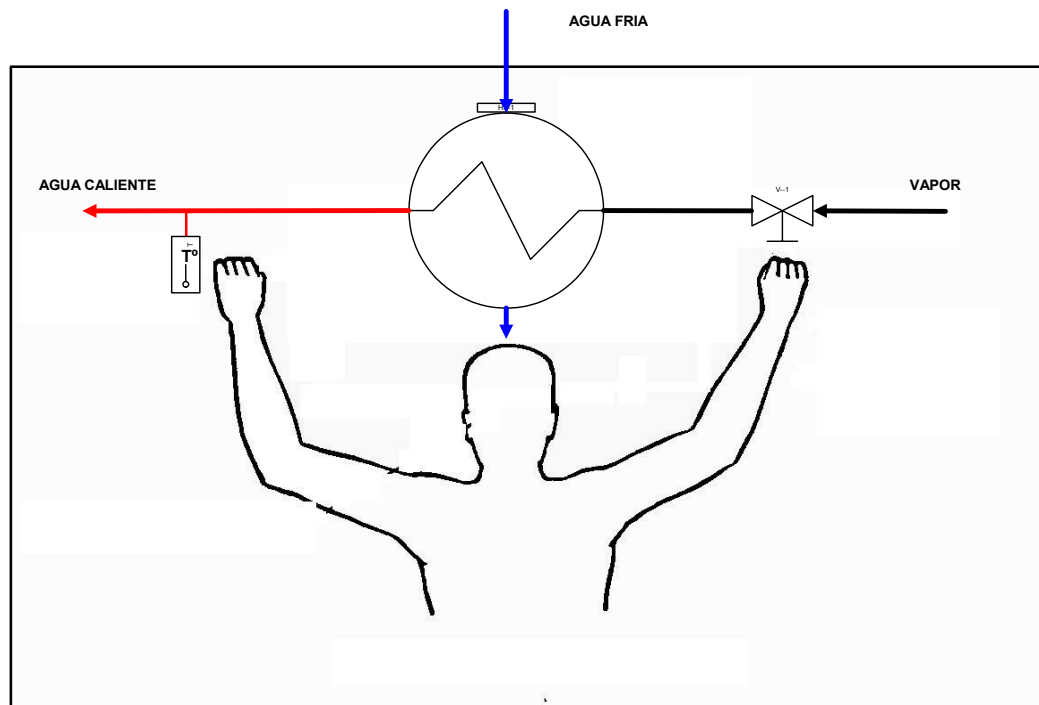
Se espera en este proyecto seguir contribuyendo, con un proceso de mejoramiento y asimilación de nuevas tecnologías que permita el desarrollo de la creatividad y el sentido de innovación en cualquier solución a nuevos retos ingenieriles.

1. LOS PROCESOS INDUSTRIALES

Los procesos industriales tales como la fabricación de productos cerámicos, alimenticios, derivados del petróleo, los tratamientos térmicos, la industria papelera, la textil entre muchas otras, utilizan fluidos como agua, gas, aceite entre otros; en el proceso de fabricación de diversos productos y es absolutamente necesario tener un control sobre estos fluidos.

Un caso representativo lo constituye el control en la regulación de la temperatura en un intercambiador de calor.

Figura 1. Intercambiador de calor



En este tipo de procesos es absolutamente necesario controlar y mantener constante la temperatura en operaciones tales como precalentamiento,

pasteurización, esterilización y refrigeración. Los elementos de control y medición permiten el mantenimiento y regulación de esta constante en condiciones más idóneas que las que el propio operador mediante un control manual del proceso pudiese realizar.

La figura 1 representa el control manual del intercambiador de calor. El operario nota la temperatura de salida del agua y acciona la válvula de vapor para mantener el agua a la temperatura deseada. Supongamos que en estas condiciones, existiendo una temperatura constante en la salida, hay un aumento en el caudal de agua de entrada. Como la válvula de vapor sigue estando en la misma posición, el intercambiador no llegará a calentar el mayor caudal de agua fría de entrada, por lo cual, la temperatura de salida deberá disminuir. Ahora bien, debido a la inercia del proceso, pasará cierto tiempo hasta que el agua más fría sea detectada por el operario. Cuando éste nota la disminución de la temperatura, debe compararla con la temperatura que desea y calcular cuántas vueltas le debe dar a la válvula de vapor y en qué sentido, y a continuación realizar ésta corrección manual en la misma. Se necesita cierto tiempo para llevar a cabo éstas decisiones y corregir la posición de la válvula.

También es cierto que pasa cierto tiempo hasta que los efectos de corrección de la válvula se notan en la temperatura de salida y pueden ser captados por el operador. Sólo entonces éste es capaz de saber si su primera corrección ha sido la adecuada. En este punto efectuará una segunda corrección, que al cabo de cierto tiempo dará lugar a otro cambio de temperatura. El operador observará los resultados de esta segunda corrección y realizará una tercera, y así sucesivamente.

Esta serie de operaciones de medida, comparación, cálculo y corrección, constituyen una cadena cerrada de acciones y se realizan una y otra vez por el operador, hasta que transcurre un cierto tiempo y la temperatura del agua se equilibra finalmente al valor deseado por el operador siempre que no hayan cambios en las condiciones del proceso. El conjunto de elementos en circuito cerrado que hacen posible este control, recibe el nombre de *lazo o anillo de control*.

1.1 HISTORIA.

En los inicios de la era industrial, el operario llevaba a cabo un control manual de variables tales como la presión, el caudal, el nivel, la temperatura, el PH entre otras. Utilizando solo instrumentos simples, manómetros, termómetros válvulas manuales etc.; control que era suficiente por la relativa simplicidad de los procesos. Sin embargo, la gradual complejidad como estos se han ido desarrollando ha exigido su automatización progresiva por medio de los instrumentos de medición y control. Estos instrumentos han ido liberando al operario de su función de actuación física directa en la planta y al mismo tiempo, le han permitido una labor única de supervisión y de vigilancia del proceso desde centros de control situados dentro del propio proceso o bien en salas aisladas separadas; así mismo, gracias a los instrumentos ha sido posibles fabricar productos complejos en condiciones estables de calidad y de características, condiciones que al operario le serian imposibles o muy difíciles de conseguir, realizando exclusivamente un control manual.

2. TEORIA DEL CONTROL

La aplicación del control automático es muy extensa, ya que casi cualquier sistema dinámico puede ser controlado. El objetivo de la teoría de control automático es obtener mediante la regulación el control de un proceso, sin que tenga que intervenir un ser humano en el lazo de control (sistema de control + proceso); para lograrlo se deben llevar a cabo mediciones referentes al estado del sistema y esta información se utiliza para generar la acción de control que nos permita alcanzar el estado deseado.

2.1 EL SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control que permite el mantenimiento de las variables puede definirse como aquel que compara el valor de la variable o condición a controlar con un valor deseado y toma una acción de corrección de acuerdo con la desviación existente sin que el operario intervenga en absoluto.

El sistema de control exige, para que esta comparación y subsiguiente corrección sean posibles, que se incluya una unidad de control, una unidad de medida, un elemento final de control y el propio proceso. Este conjunto de unidades forman un bucle o lazo de control. El bucle puede ser abierto (figura N° 2) o bien cerrado (figura N° 3).

Figura 2. Bucle abierto de regulación.

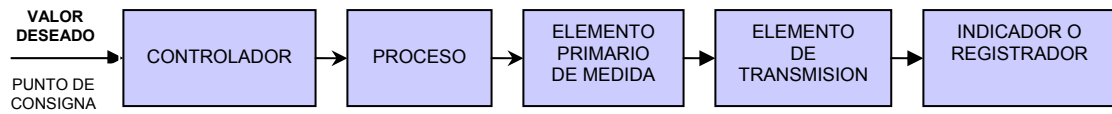
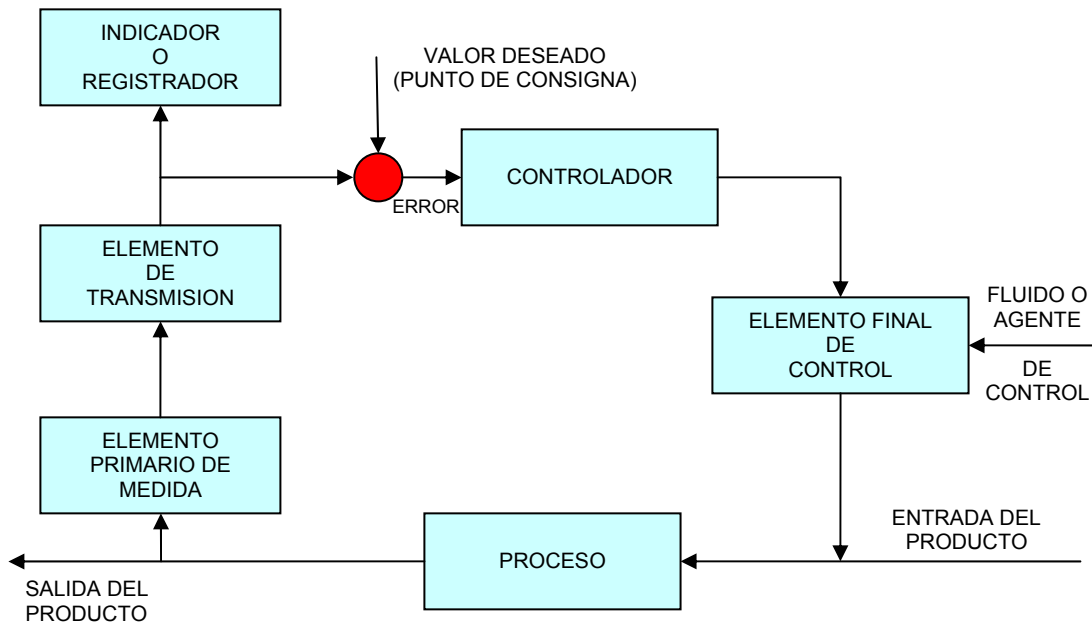


Figura 3. Bucle cerrado de regulación.



En ambos casos se observa que existen elementos definidos como el elemento de medida, el transmisor, el controlador, el indicador, el registrador y el *elemento final de control*.

Asociadas al sistema de control existen diferentes tipos de variables. Primero tenemos la variable controlada; este valor básico del proceso que estamos

regulando en el sistema de control; es la variable en la que estamos interesados; en un sistema de control con retroalimentación es usualmente la variable medida.

Un concepto importante relacionado con la variable controlada es el set point. Este es el valor deseado para la variable controlada. El objetivo del sistema de control es regular la variable controlada en forma tal que tienda hacia el valor del set point.

Para lograr el objetivo del control debe haber una o más variables que podamos alterar o ajustar, estas son llamadas las variables manipuladas (apertura de la válvula de control).

En conclusión, en un sistema de control nosotros ajustamos la variable manipulada para mantener la variable controlada en el valor del setpoint. Esto debe cumplir con el requerimiento de mantener la estabilidad del proceso y suprimir la influencia de las perturbaciones.

2.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CONTROL

Estimando un sistema de control automático, encontramos los siguientes instrumentos.

2.2.1 SENSOR.

Sirve para medir las variables del sistema y como la fuente de señal en el control automático.

2.2.2 CONTROLADOR

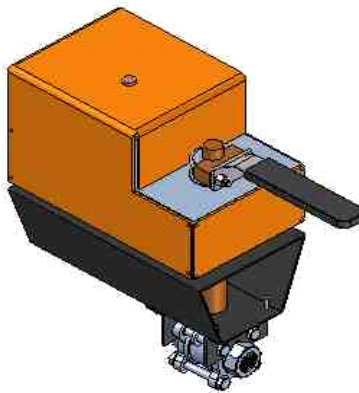
Instrumento que realiza las funciones de comparación y computación.

2.2.3 ELEMENTO FINAL DE CONTROL.

Realiza la acción de control o que posee algún tipo de acción sobre el proceso (válvula de control de proceso).

En el control automático de los procesos industriales *la válvula de control* figura 4, juega un papel muy importante en el bucle de regulación. Realiza la función de variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el valor de la variable medida, dentro del bucle de control tiene tanta importancia como el elemento primario, el transmisor y el controlador.

Figura 4. Elemento final de control (Válvula de bola para control de flujo)



2.4 FUNCIONES DEL SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control, complementado por el operador o por el controlador, realiza las siguientes funciones.

2.4.1 MEDICION

Es esencialmente una estimación o aproximación del proceso bajo control.

2.4.2 COMPARACION

Es un cotejo entre los valores medidos y los valores deseados.

2.4.3 COMPUTO

Este es un cálculo que indica cuanto difieren los valores medidas de los valores deseados, y que acción y en que cantidad debe tomarse para que dicha diferencia tienda a cero.

2.4.4 CORRECCION

Esta es en ultimo la materialización del ajuste. Toma las acciones necesarias para corregir el error. Luego, para que un sistema de control opere satisfactoriamente, debe tener habilidades de medir, comparar, computar y corregir aquellas variables necesarias para cumplir con los objetivos del sistema de control.

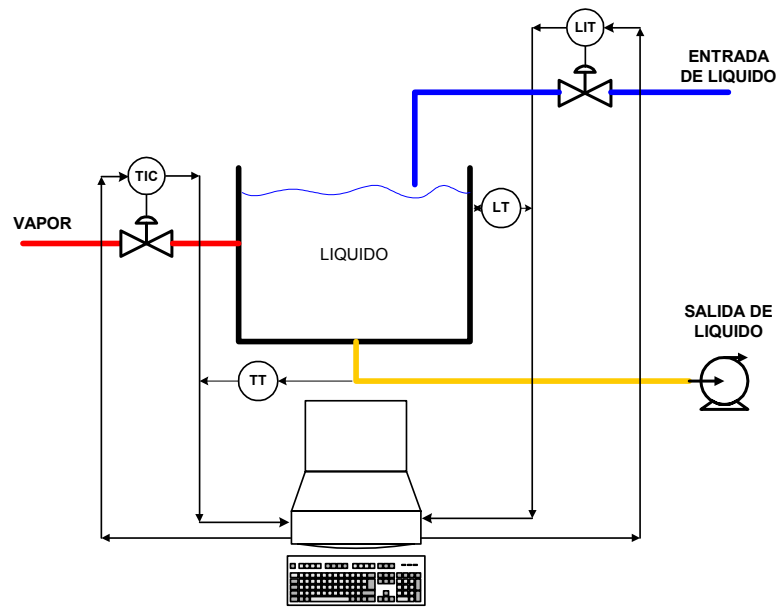
2.5 ESTRUCTURAS TIPICAS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

Dentro de los sistemas de control de procesos encontramos 3 estructuras típicas donde los sistemas de adquisición de datos constituyen una parte medular de los mismos. Estas estructuras son: control supervisorio, control digital directo y control distribuido.

2.5.1 CONTROL DIGITAL SUPERVISORIO.

El control digital supervisorio consiste en el uso de una computadora que monitorea las salidas de los distintos controladores analógicos o digitales y dependiendo del desempeño de los mismos pueda mandar modificaciones a las referencias (set points) de las variables críticas. La señal de cada transmisor se manda tanto a los controladores como a la computadora.

Figura 5. Ejemplo del control supervisorio en un proceso de temperatura y nivel



Nota: por simplificación en el diagrama se han omitido los sistemas de acondicionamiento electrónico y los sistemas manejadores de potencia para lograr las inveraces correspondientes a la computadora.

TIC= Indicador de temperatura y controlador.

TT = Sensor y transmisor de temperatura.

LIC= Indicador de nivel y controlador.

LT= Sensor y transmisor de nivel.

Dentro de las ventajas más importantes del control supervisorio podemos listar las siguientes:

- En la computadora pueden ser desplegadas gráficas de alta resolución sobre el estado y comportamiento del proceso y sus controladores.
- Puede ser fácilmente añadido a un sistema de control puramente análogo previamente instalado.

- Si la computadora falla, el sistema sigue funcionando con las últimas referencias aplicadas a cada controlador.
- Como los controladores manejan la dinámica del proceso, la computadora no tiene que ser demasiado rápida.

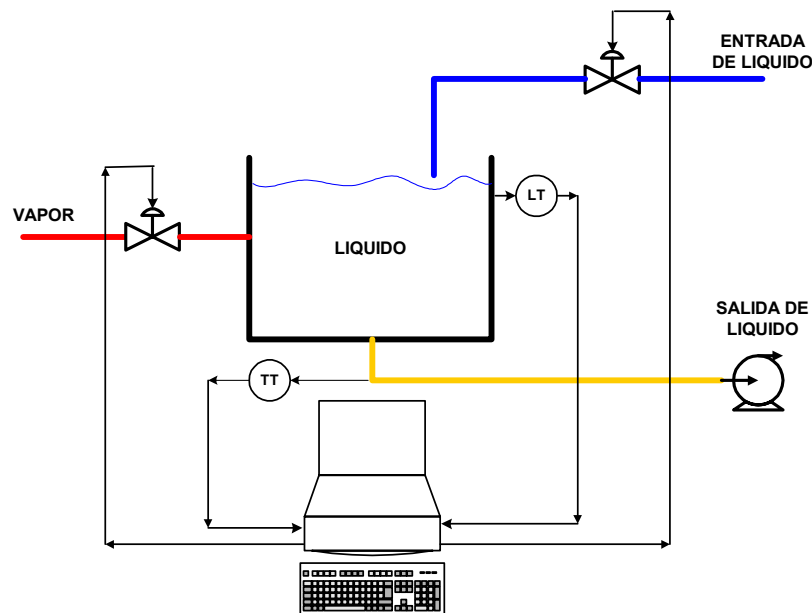
Dentro de las desventajas más importantes de este sistema podemos listar las siguientes:

- El sistema está limitado por las características de los controladores análogos o digitales que prevalecen en el sistema.
- Para una substitución del control análogo existente, el control digital supervisor requiere de bastante instrumentación electrónica.
- El sistema no es muy flexible.

2.5.2 CONTROL DIGITAL DIRECTO.

En el control digital directo no existen controladores análogos. Los transmisores mandan sus señales solamente a la computadora a través de un sistema de adquisición de datos. La computadora compara las señales retroalimentadas con las señales de referencia ("set points") previamente generadas o tecleadas. Después la computadora calcula la acción de control usando un algoritmo predeterminado y manda la demanda de manipulación a los actuadores.

Figura 6. Ejemplo del control directo en un proceso de temperatura y nivel



Nota: por simplificación en el diagrama se han omitido los sistemas de acondicionamiento electrónico y los sistemas manejadores de potencia para lograr las inveraces correspondientes a la computadora.

TT = Sensor y transmisor de temperatura.

LT= Sensor y transmisor de nivel.

La ventaja más importante del sistema digital directo es que el uso integral de la computadora digital puede proporcionar algoritmos más complejos para controlar procesos con iteraciones y modelos más complicados.

Como desventajas importantes podemos listar las siguientes:

- El esquema básico no incluye un respaldo análogo o digital para el caso de una falla computacional.
- Para procesos muy rápidos como el procesamiento digital de señales, de video, y filtrado digital se requiere de computadoras de alto desempeño para procurar un control adecuado, un despliegue

en tiempo real del estado del proceso y un informe continuo del desempeño del proceso.

2.5.3 CONTROL DIGITAL DISTRIBUIDO.

El control distribuido posee las ventajas más importantes del control digital supervisorio y del control digital directo, de tal forma que se integra un esquema híbrido muy efectivo.

Cada lazo de control en el proceso tiene su propio transductor, transmisor, indicador / controlador y actuador. Algunos cálculos realizados por la minicomputadora del esquema digital directo pueden ser realizados por la microcomputadora de cada lazo de control en el esquema de control distribuido. Además, cada microcomputadora tiene la habilidad de cambiar su propia estrategia de control sin la intervención de la computadora principal o del operador (autosintonización).

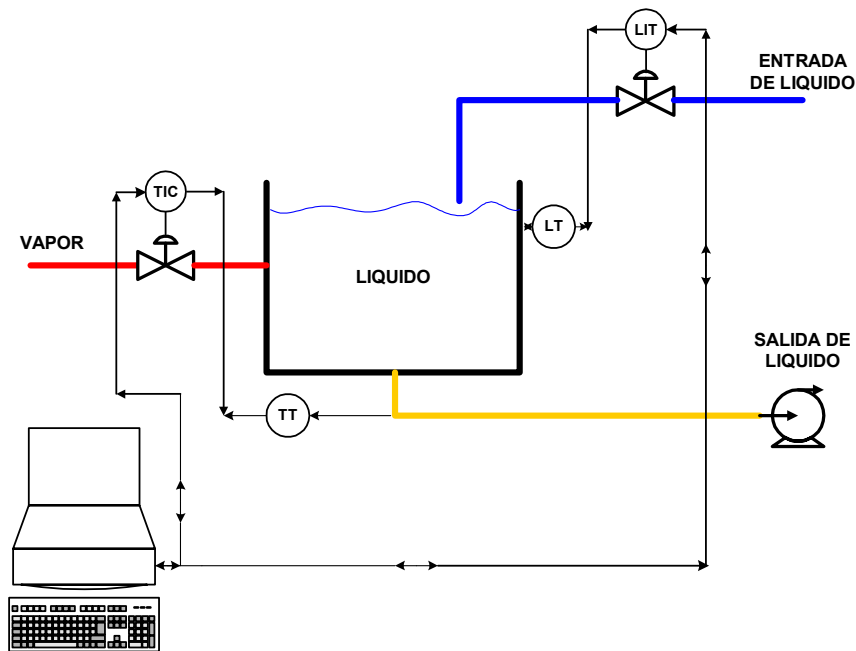
La comunicación entre cada microcomputadora y la computadora central se realiza mediante cable coaxial. Este cable es compartido por cientos de controladores distribuidos en toda la planta. Los controladores pueden también ser reprogramados a través de una red local de comunicación desde la computadora principal.

Las ventajas más importantes del sistema distribuido son:

- El sistema puede ser monitoreado desde una computadora supervisora, donde se puede desplegar información gráfica de múltiples lazos de control.
- Las minicomputadoras usadas para los lazos de control pueden ser microprocesadores o microcontroladores que dan muy buen rendimiento a un bajo costo.
- Si alguna microcomputadora falla, el proceso seguirá funcionando normalmente. Se puede incluir redundancia local para respaldar el sistema de control completo.
- Se pueden incorporar esquemas de auto-sintonía para los controladores individuales.

Una de las posibles desventajas puede ser la complejidad de los algoritmos de control y quizás el costo en el desarrollo del sistema completo

Figura 7. Ejemplo de control digital distribuido para un proceso de temperatura y nivel.



Nota: por simplificación en el diagrama se han omitido los sistemas de acondicionamiento electrónico y los sistemas manejadores de potencia para lograr las inveraces correspondientes a la computadora.

TIC= Indicador de temperatura y controlador.

TT = Sensor y transmisor de temperatura.

LIC= Indicador de nivel y controlador.

LT= Sensor y transmisor de nivel.

2.6 ACCIONES DE CONTROL

2.6.1 CONTROL ON-OFF:

Es la forma más sencilla y común de control (por ejemplo, la válvula esta totalmente abierta o totalmente cerrada). La ventaja de este tipo de acción de control radica en que es muy económico y extremadamente sencillo.

2.6.2 CONTROL PROPORCIONAL

La acción proporcional es sencilla y la más utilizada en todos los modos de control continuo. En este tipo de acción, el controlador produce una señal que es “proporcional” al error. Luego, mayor magnitud en el error implica que la acción correctiva aplicada debe ser mayor. Esto nos permitirá controlar el flujo cerca al valor requerido.

2.6.3 CONTROL INTEGRAL Y DERIVATIVO

Hay dos técnicas de control utilizadas para eliminar los problemas encontrados cuando se usa solamente la acción proporcional: el control integral y el control derivativo. Algunas veces son utilizadas individualmente, pero frecuentemente son combinadas con la acción proporcional.

2.6.4 ACCION INTEGRAL

La acción integral brinda una salida que es proporcional a la integral en el tiempo del error. Esto es, un controlador integral genera un esfuerzo correctivo proporcional no al presente error, como en la acción proporcional, si no a la sumatoria de errores previos. La acción integral puede ser utilizada en forma aislada. Pero lo más común es conjugarla con la acción proporcional. Esta combinación es favorable ya que las ventajas de ambos tipos de acción de control se refuerzan.

2.6.5 ACCION DERIVATIVA

Este tipo de acción brinda una salida que es proporcional a la tasa de cambio del error este tipo de acción no puede ser utilizada en forma aislada. Lo anterior se debe a que la salida del controlador estaría relacionada únicamente con la tasa de cambio del error. Si el error fuera grande pero no estuviera cambiando, el controlador no brindaría ninguna salida. La acción derivativa no produce un esfuerzo correctivo particularmente preciso, pero generalmente mueve el proceso en la dirección correcta mucho más rápido de lo que lo haría un controlador proporcional integrado.

2.6.6 ACCION PROPORCIONAL, INTEGRAL Y DERIVATIVA.

En aplicaciones industriales algunas veces estas tres acciones de control son combinadas para figurar un controlador PID.

El uso de controladores PID en el control de procesos es limitado, principalmente por los problemas de ruido en las señales. La acción derivativa amplifica este ruido y da como resultado un bajo desempeño en algunas aplicaciones.

3. ACTUADORES

El actuador es la parte de la válvula de control con que se convierte la energía de entrada, en movimiento mecánico para abrir o cerrar la válvula.

Las características principales que ayudan a su selección son:

- Fuente de potencia.
- Características de protección contra fallas.
- Capacidad del actuador.

3.1 FUENTE DE POTENCIA:

La potencia disponible en el lugar en que esta la válvula (electricidad, aire comprimido, liquido hidráulico, agua a presión etc.) será la base para la selección del actuador.

La confiabilidad y la necesidad de mantenimiento del equipo de potencia y su efecto sobre el funcionamiento de las válvulas es un factor primordial.

3.2 CARACTERISTICAS DE PROTECCION CONTRA FALLAS:

Los sistemas de protección contra fallas detienen el proceso a fin de evitar posibles pérdidas del producto en caso de una interrupción de la potencia.

Los actuadores permiten elegir el modo de protección para la válvula: que se quede abierta, se quede cerrando o se mantenga en la última posición.

3.3 CAPACIDAD DEL ACTUADOR:

El actuador debe tener suficiente par de torsión o empuje para la aplicación específica. En algunos casos, los requerimientos de torsión indicaran el tipo y las necesidades de potencia del actuador.

3.4 TIPOS DE ACCIONAMIENTO DE LA VÁLVULA DE CONTROL

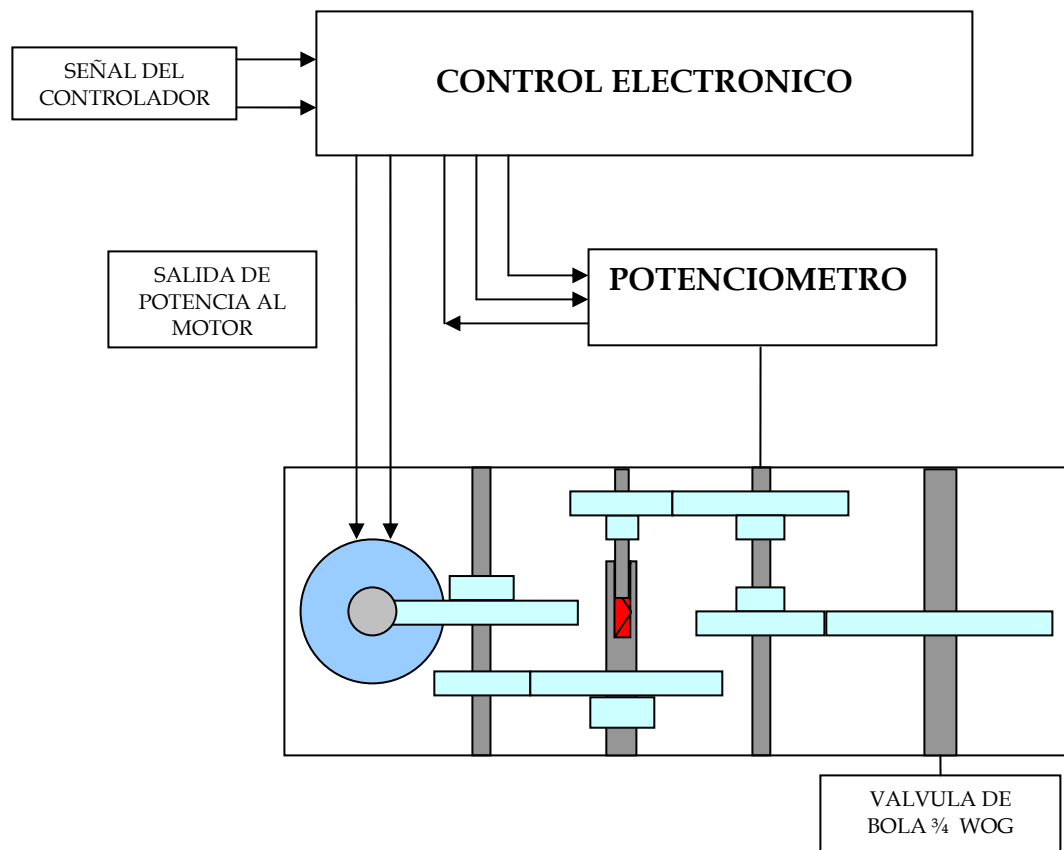
El actuador es la parte de la válvula de control con que se convierte la energía de entrada, ya sea eléctrica, neumática e hidráulica, en movimiento mecánico para abrir o cerrar la válvula, para el tipo de actuadores accionados eléctricamente se requiere energía eléctrica para mover el motor y una señal eléctrica desde el controlador.

Existen varios tipos de accionamiento para los actuadores de las válvulas los cuales se relacionan a continuación.

- Accionamiento manual.
- Accionamiento neumático.
- Accionamiento hidráulico.
- Accionamiento eléctrico accionamiento electroneumático y electrohidráulico.

En este caso el actuador que se utilizo es un actuador electrónico. El esquema del actuador es mostrado en la siguiente figura .

Figura 8. Esquema del actuador.



Como podemos observar el actuador consta de tres partes principales: la transmisión mecánica, el control electrónico y la válvula de bola de $\frac{3}{4}$ WOG.

4. VÁLVULAS DE CONTROL DE PROCESOS

En el mercado existen un gran numero de válvulas que se emplean por lo general para tres funciones básicas: cierre (bloqueo), estrangulación o para impedir el flujo inverso de fluidos del proceso. Para cubrir requerimientos de servicios especializados como es el caso de plantas automatizadas, se emplean normalmente válvulas especiales (válvulas de control), diseñadas, como su nombre lo indica, para poder mantener en los puntos de control, las variables que se deseen controlar.

Dentro de las clasificaciones generales existe un tipo de válvulas especiales que actúan como una resistencia variable en la línea del proceso; mediante el cambio de su apertura se modifica la resistencia al flujo al igual que en las válvulas manuales, pero obedeciendo a un algoritmo de control que las gobierna y son llamadas *válvulas de control*.

En el control automático de control de procesos industriales la *válvula de control* juega un papel muy importante en el bucle de regulación. Realiza la función de variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el valor de la variable medida comportándose como un orificio de área continuamente variable. Dentro del bucle de control tiene tanta importancia como el elemento primario, el transmisor y el controlador.

La selección de las válvulas incluye muchos factores y es preferible tener como referencia un sistema que facilite la selección. Se deben tener en cuenta como mínimo, las siguientes características básicas:

- ✓ Tipo de válvula,
- ✓ Materiales de construcción,
- ✓ Capacidades de presión y temperatura,
- ✓ Material de la empaquetadura,
- ✓ Costo y disponibilidad.

Una caracterización adicional que se debe tener en cuenta a la hora de seleccionar una válvula es la *característica de protección contra falla*, esto es: como se requiere que la válvula opere en caso de faltar suministro de energía por lo anterior encontramos válvulas normalmente abiertas y válvulas normalmente cerradas y adicionalmente en algunos tipos de válvulas la última posición antes del fallo energético es mantenida.

4.1 TIPOS DE VALVULAS

Las válvulas pueden ser de varios tipos según sea el diseño del cuerpo y el movimiento de obturador.

Las válvulas de movimiento lineal en las que el obturador se mueve en la dirección de su propio eje se clasifican como se especifica a continuación.

- ✓ Válvulas de globo.
- ✓ Válvulas en ángulo.
- ✓ Válvulas de jaula.

- ✓ Válvulas de compuerta.
- ✓ Válvula de cuerpo partido.
- ✓ Válvula Saunders.
- ✓ Válvula de compresión.

Cada una desde luego posee una característica que las hace únicas por ejemplo la válvula de compuerta efectúa su cierre con un disco vertical plano, o de forma especial, y que se mueve verticalmente al flujo de fluido. Por su disposición es adecuada generalmente para control todo o nada, ya que en posiciones intermedias tiende a bloquearse; tienen la ventaja de presentar poca resistencia al flujo de fluido cuando esta en posición de apertura total. Otro tipo de válvula es la válvula Saunders, el obturador es una membrana flexible que a través de un vástago unido a un servomotor, es forzada contra el resorte del cuerpo cerrando así el paso del fluido. Tiene la desventaja de que el servomotor de accionamiento debe ser muy potente.

Las válvulas en las que el obturador tiene un movimiento circular se clasifican como se detalla a continuación.

- *Válvulas de bola.*
- Válvulas de mariposa.
- Válvulas de obturador excéntrico rotativo.
- Válvulas de obturador cilíndrico excéntrico.
- Válvulas de orificio ajustable.
- Válvula de flujo axial.

En el caso de la válvula de mariposa el cuerpo esta formado por un anillo cilíndrico dentro del cual gira transversalmente un disco circular. Un

servomotor exterior acciona el eje de giro del disco y ejerce su par máximo cuando la válvula esta totalmente abierta.

Las válvulas de mariposa se emplean para el control de grandes caudales de fluidos a baja presión.

4.2 VALVULAS DE BOLA

Durante años, los ingenieros han utilizado válvulas de globo, ignorando una de las válvulas mas precisas y versátiles del mercado, como lo es la válvula de bola, actualmente esta siendo ampliamente utilizada para controlar caudales desde la pulpa de madera y el petróleo hasta el glicol etílico.

Figura 9. Diferentes tipos de válvulas de bola.



El cuerpo de la válvula tiene una cavidad interna esférica que alberga un obturador en forma de esfera o de bola que fija la curva característica de la

válvula, y gira transversalmente accionada por un servomotor exterior. El cierre estanco se logra con un aro de teflón incorporado al cuerpo contra el cual asienta la bola cuando la válvula esta cerrada. La bola ajusta al cuerpo de la válvula y tiene un movimiento de giro de 90°. Se utiliza generalmente en el control de líquidos o gases y en regulación de caudal.

4.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA VÁLVULA DE BOLA.

- Cualidades industriales: a diferencia de otras válvulas de control, la válvula de bola puede soportar amplios niveles de temperatura y altos niveles de presión.
- Característica de caudales: posee uniformidad en el porcentaje de flujo conforme varía la posición de 0 a 100%.
- Limpieza automática: se limpia a si misma cada vez que se abre o se cierra.
- Alta controlabilidad: la característica de igual porcentaje de flujo unida a la precisa resolución del accionador, conduce a una controlabilidad excelente.
- Alta eficiencia en taponamiento: el taponamiento de las válvulas de bola se encuentra en el rango de 150 psi; dependiendo del accionador seleccionado.
- Versatilidad: debido al acople directo del actuador a la válvula la hace que sea fácil instalación y mantenimiento.

- Costo efectivo: debido al diseño de la válvula, su costo es menor que el de otras válvulas de control.
- Variedad de materiales: se encuentran disponibles en distintas combinaciones incluyendo cuerpo de bronce con bordes de acero inoxidable y cuerpo de acero inoxidable con bordes también de acero inoxidable, muy convenientes en la industria alimenticia.

4.3 CORROSION Y EROSION EN LAS VALVULAS

No existe actualmente ningún material que resista la corrosión de todos los fluidos, por lo cual en muchos casos es necesario utilizar materiales combinados cuya selección dependerá del medio específico donde deban trabajar.

La figura 10 permite seleccionar los materiales resistentes a la corrosión, debiendo señalar que solo constituye una guía sin ser una recomendación exacta ya que la gran variedad de condiciones de servicio puede alterar las características de resistencia del material; realmente, la selección particular de un material específico dependerá de las pruebas experimentales a que se someta el proceso.

Cuando el material resistente a la corrosión es costoso o no adecuado, pueden utilizarse materiales de revestimiento, tales como plásticos, fluorocarburos, elastómeros, plomo y tantalio. Como es lógico el revestimiento no debe fallar pues el fluido atacaría el metal base y la válvula se perforaría.

La erosión se produce cuando partículas a alta velocidad en el seno del fluido chocan contra la superficie del material de la válvula. Estas condiciones se

encuentran en la vaporización de un líquido (flashing), con arena, fango, etc. La posible presencia del fenómeno de la erosión ante el gran número de fluidos y la gran variedad de condiciones de servicio que se encuentren actualmente en la industria obliga a seleccionar el tipo y material del cuerpo y del obturador a fin de resistirla, en particular en condiciones extremas de presión diferencial y de temperatura.

Frente a la erosión los materiales termoplásticos tienen el doble de duración que los metálicos en los casos en que el caudal no supera los 3 m/s y el tamaño de las partículas flotantes en el líquido no superan los 300mesh.

4.4 TABLA PARA SELECCIÓN DE MATERIALES EN VALVULAS DE BOLA

La siguiente lista de componentes de construcción se ha preparado para ayudar en la selección de los materiales de la válvula apropiados para ser usados de acuerdo a las diferentes aplicaciones. Esta información sólo será usada como una guía general para la compatibilidad material. Debe darse la consideración adicional a los factores del sistema incluso la expansión térmica de fluidos y los componentes agudos como perfilados en ANSI B31, el abrasivo y adhesivos de los medios de comunicación, y la limpieza del sistema. Esta información debe usarse junto con las condiciones de servicio real.

A: EXCELENTE

B: BUENO

C: REGULAR NO MUY CONFIABLE D: NO RECOMENDADA

O: NO HAY INFORMACION

Figura 10. Tabla para seleccionar los materiales de la válvula.

CHEMICALS	BRONZE	CARBON STEEL	316 SS	REINFORCED TFE SEATS	CHEMICALS	BRONZE	CARBON STEEL	316 SS	REINFORCED TFE SEATS
Acetaldehyde	D	C	A	A	Carbon Tetrachloride (Dry)	C	B	A	A
Acetate Solvents	D	D	A	A	Carbon Tetrachloride (Wet)	D	D	B	A
Acetic Acid Pure	C	C	A	A	Carbonated Water	D	D	A	A
Acetic Anhydride	C	D	B	A	Chlorinated Solvents (Dry)	C	C	B	A
Acetone	A	A	A	A	Chlorinated Water	D	D	C	A
Acetylene (Dry)	B	A	A	A	Chlorine (Wet)	D	D	D	A
Acrylonitrile	A	A	A	A	Chlorobenzene (Dry)	B	B	A	A
Air	A	A	A	A	Chromic Acid 50%	D	D	C	A
Alcohol	B	B	A	A	Citrus (Juices)	D	D	A	A
Aluminum Chloride (Dry)	B	B	A	A	Citrus Acid	D	D	A	A
Aluminum Sulfate (Alums)	C	C	A	A	Coke Oven Gas	C	B	A	A
Amines	A	A	A	A	Cooking Oil	D	D	A	A
Ammonia (Anhydrous)	D	A	A	A	Copper Acetate 10%	D	C	B	A
Ammonia (Aqueous)	D	A	A	A	Copper Chloride	D	D	D	A
Ammonia Solutions	D	B	A	A	Copper Sulfate	D	D	C	A
Ammonium Bicarbonate	B	C	B	A	Cottonseed Oil	D	D	B	A
Ammonium Carbonate	B	B	B	A	Cresote Oil	B	B	B	A
Ammonium Chloride	D	D	C	A	Crude Oil, Sour	C	B	A	A
Ammonium Hydroxide 28%	D	C	B	C	Crude Oil, Sweet	B	B	A	A
Ammonium Hydroxide (conc.)	D	C	B	A	Cutting Oils, Water Emulsions	A	B	A	A
Ammonium Monophosphate	D	D	B	A	Cyclohexane	A	A	A	A
Ammonium Sulfate	B	C	B	A	Detergents, Synthetic	B	O	B	A
Ammonium Sulfide	D	D	B	A	Diacetone Alcohol	A	A	A	A
Ammonium Sulfite	B	C	B	A	Diachloroethane	D	D	C	A
Aniline	D	A	B	A	Dichloroethyl Ether	B	O	B	A
Aniline Dyes	C	C	A	A	Diesel Fuels	A	A	A	A
Apple Juice	D	D	B	A	Diethylamine	A	A	A	A
Aromatic Solvents	A	C	A	A	Diethylene Glycol	B	O	A	A
Arsenic Acid	D	D	B	A	Diethyl Sulfate	B	O	B	A
Benzene (Benzol)	B	B	A	A	Dimethyl Formamide	B	O	A	A
Benzoic Acid	B	D	B	A	Drilling Mud	B	B	A	A
Borax (Sodium Borate)	D	C	A	A	Dry Cleaning Fluids	C	B	A	A
Borax Liquors	A	C	B	A	Drying Oil	C	C	B	A
Boric Acid	B	D	B	A	Epsom Salts	B	C	B	A
Brake Fluid	B	O	B	A	Ethane	A	A	A	A
Brines	B	C	B	A	Ethers	B	B	A	A
Butadiene	C	B	A	A	Ethyl Acetate	C	B	B	A
Butane	A	A	A	A	Ethyl Acrylate	B	C	A	A
Butylene	A	A	A	A	Ethyl Alcohol	B	B	B	A
Butyric Acid	C	D	B	A	Ethyl Bromide	O	A	B	A
Calcium Bisulfate	D	D	A	A	Ethyl Chloride (Dry)	B	B	A	A
Calcium Carbonate	C	D	B	A	Ethyl Chloride (Wet)	C	D	A	A
Calcium Chloride	B	C	B	A	Ethylene Glycol	B	B	B	A
Calcium Hydroxide 20%	A	C	B	A	Ethylene Oxide	D	B	B	A
Calcium Hypochlorite	D	D	C	A	Fatty Acids	B	D	A	A
Calcium Phosphate	C	O	B	A	Ferric Chloride	D	D	D	A
Calcium Sulfate	C	C	B	A	Ferric Nitrate	D	D	C	A
Carbonic Acids	B	D	B	A	Ferric Sulfate	D	D	B	A
Carbolic Acid (Phenol)	B	D	B	A	Ferrous Chloride	B	D	D	A
Carbonated Beverage	B	D	B	A	Ferrous Sulfate	C	D	B	A
Carbon Bisulfide	C	B	B	A	Fertilizer Solution	C	B	B	A
Carbon Dioxide (Dry)	A	A	A	A	Formaldehyde, Cold	A	A	A	A
Carbonic Acid	D	D	B	A	Formaldehyde, Hot	B	D	C	A
Carbon Monoxide	A	O	A	A	Formic Acid Hot & Cold	B	D	B	A

CHEMICALS	BRONZE	CARBON STEEL	316 SS	REINFORCED TFE SEATS	CHEMICALS	BRONZE	CARBON STEEL	316 SS	REINFORCED TFE SEATS
Freon, Dry	B	B	A	A	Paraformaldehyde	B	B	B	A
Freon, Wet	D	O	C	A	Pentane	A	B	A	A
Fruit Juices	D	D	A	A	Perchloroethylene (Dry)	C	B	B	A
Gallic Acid 5%	C	D	B	A	Petroleum (Vaseline)	B	C	B	A
Gas, Manufactured	B	B	B	A	Phenol	B	B	A	A
Gas, Odorizers	A	B	B	A	Phosphate Ester	D	A	A	A
Gasoline (Leaded) (Unleaded) (Aviation)	A	A	A	A	Phosphoric Acid 10% Cold, 50% Cold	D	D	B	A
Gasoline, Refined or Sour	B	B	A	A	Phosphoric Acid 10% Hot, 50% Hot	D	D	D	A
Gelatin	D	D	A	A	Phosphorous Trichloride	D	B	A	A
Glucose	A	B	A	A	Phthalic Acid	B	C	B	A
Glycerine (Glycerol)	B	B	A	A	Phthalic Anhydride	B	C	B	A
Glycol Amine	D	O	B	A	Potassium Carbonate	D	C	A	A
Glycols	B	B	B	A	Potassium Chlorate	D	B	A	A
Grease	B	B	A	A	Potassium Chloride	A	C	C	A
Heptane	B	B	B	A	Potassium Hydroxide (Dilute Cold)	D	B	A	A
Hexane	B	B	B	A	Potassium Hydroxide (Dilute Hot)	D	B	A	A
Hexanol, Tertiary	A	A	A	A	Potassium Hydroxide (To 70% Cold)	D	A	A	A
Hydrochloric Acid (Air Free)	D	D	D	A	Potassium Hydroxide (To 70% Hot)	B	A	A	A
Hydrocyanic Acid	D	D	B	A	Potassium Iodide	D	C	B	A
Hydrogen Peroxide (Conc)	D	D	B	A	Potassium Nitrate	B	B	A	A
Hydrogen Peroxide (Dilute)	B	D	B	A	Propane Gas	A	A	A	A
Illuminating Gas	A	A	A	A	Propyl Alcohol	B	A	A	A
Iodoform	B	B	B	A	Propyl Bromide	B	O	B	A
Iso-Octane	A	A	A	A	Propylene Glycol	B	B	B	A
Isopropyl Acetate	O	O	B	A	Resins & Rosins	C	C	A	A
Isopropyl Alcohol	B	B	B	A	Rosin Emulsions	B	C	A	A
Isopropyl Ether	A	A	A	A	Rubber Latex Emulsions	D	B	A	A
JP-4 Fuel, Jet, JP-5 Fuel, Jet	A	A	A	A	Rubber Solvents	D	A	A	A
Kerosene	A	B	A	A	Salad Oil	D	D	B	A
Ketchup	D	D	A	A	Salicylic Acid	D	D	A	A
Ketones	A	A	A	A	Salt (NaCl)	D	C	B	A
Lacquer (and Solvent)	A	C	A	A	Salt Brine	C	O	A	A
Lactic Acid	C	D	A	A	Sea Water	C	D	A	A
Lactic Acid (Conc Hot)	D	D	B	A	Sevage	C	C	B	A
Lactose	B	O	B	A	Silicone Oils	A	A	A	A
Lead Acetate	C	D	B	A	Silver Bromide	D	D	B	A
Lead Sulfate	C	O	B	A	Silver Chloride	D	D	D	A
Linoleic Acid	B	B	A	A	Soap Solutions	A	A	A	A
Linseed Oil	B	A	B	A	Sodium Acetate	C	B	B	A
LPG Gas	A	A	A	A	Sodium Aluminate	C	C	A	A
Lubricating Oil, Petro Base	B	A	A	A	Sodium Bicarbonate	B	C	B	A
Menthol	B	O	B	A	Sodium Bisulfate (10%)	B	D	A	A
Mercuric Chloride	D	D	D	A	Sodium Bisulfite (10%)	B	D	A	A
Mercury	D	A	A	A	Sodium Borate	B	C	D	A
Methane	A	A	A	A	Sodium Bromide (10%)	B	C	B	A
Methyl Acetate	A	A	A	A	Sodium Carbonate (Soda Ash)	B	B	B	A
Methyl Acetone	A	A	A	A	Sodium Chlorate, Sodium Chloride	B	C	B	A
Methyl Alcohol	B	B	B	A	Sodium Chromate	C	B	A	A
Methyl Ethyl Ketone	A	A	A	A	Sodium Cyanide 10%	D	A	A	A
Mine Waters (Acid)	C	D	B	A	Sodium Hydroxide, Cold 70%	C	C	B	A
Mineral Oils	B	B	A	A	Sodium Hydroxide, Hot 70%	C	B	B	A
Mineral Spirits	B	B	B	A	Sodium Hypochloride	D	D	D	A
Mixed Acids (Cold)	D	C	A	A	Sodium Hyposulfite	D	D	A	A
Molasses	D	D	A	A	Sodium Sulfate Na ₂ SO ₄	B	B	A	A
Muratic Acid	D	D	D	A	Sodium Sulfide Na ₂ SO ₃	D	B	B	A
Morpholine	B	O	B	A	Soybean Oil	B	C	A	A
Mustard	D	D	A	A	Starch	B	A	A	A
Naptha	B	B	A	A	Steam (212° F)	A	A	A	A
Napthalene	B	A	A	A	Sulfur	D	C	B	A
Nitrobenzene	D	B	B	A	Sulfur Chlorides	D	D	C	A
Nitrogen	A	A	A	A	Sulfur Acid (0-7%), (20%), (50%)	D	D	D	A
Nitrous Acid 10%	D	B	B	A	Synthesis Gas	B	B	B	A
Nitrous Gases	D	B	A	A	Toluol (Toluene)	A	A	A	A
Nitrous Oxide	C	A	B	A	Tomato Juice	C	C	A	A
Oils, Water Mixture	A	B	A	A	Transformer Oil	B	A	A	A
Oxalic Acid	B	D	D	A	Urea	B	C	B	A
Oxygen (Cold)	A	B	A	A	Water, Distilled	D	D	A	A
Ozone (Dry)	A	A	A	A	Water, Fresh	B	C	A	A
Paints and Solvents	A	A	A	A	Water, Acid Mine	D	D	B	A
Palmitic Acid	B	C	A	A	Water, Sea	B	D	A	A
Palm Oil	D	D	B	A	Wax Emulsions	A	A	A	A
Paper Pulp	B	O	B	A	Waxes	A	A	A	A
Paraffin	A	B	A	A	Zinc Chloride	D	D	D	A

4.4. CARACTERIZACION DE LAS VALVULAS

El coeficiente C_v es empleado para relacionar el tamaño de una válvula con la caída de presión para un flujo dado. El C_v , expresa la rata de flujo en galones por minuto de agua a 60°F (15,6 °C), con una caída de presión de 1 psi a través de la válvula.

4.4.1 CALCULO DEL C_v PARA LIQUIDOS Y VAPORES

Seleccionar la válvula apropiada para un sistema es vital para lograr un buen control. Aunque la válvula se puede clasificar según tamaño esto no es una ciencia exacta, hay varios factores que necesitan ser considerados al seleccionar el tamaño como el sistema sobre el cual se va a utilizar.

4.4.1.1 SISTEMAS DE LÍQUIDOS

Para calcular el tamaño de una válvula para una aplicación líquida, se utiliza el siguiente método.

Ecuaciones:

$$C_v = \frac{Q \cdot \sqrt{G}}{\sqrt{\Delta P}}$$

Donde C_v = Coeficiente De Flujo

Q = Flujo en galones por minuto (GPM)

G = Gravedad Específica del Fluido

ΔP = Caída de presión en la válvula en PSI.

Formas alternativas:

$$Q = \frac{C_v \cdot \sqrt{\Delta P}}{\sqrt{G}}$$

$$\Delta P = \left(\frac{Q \cdot \sqrt{G}}{C_v} \right)^2$$

NOTA:

La gravedad específica es insignificante para agua por debajo de 200° F. Use la gravedad específica para fluidos puros diferentes de agua. En la mayoría de los casos, la válvula seleccionada para mezcla de agua no es afectada por la gravedad específica.

Tabla 1 .Gravedad específica.

GRAVEDAD ESPECÍFICA.			
COMPONENTE	(G)	COMPONENTE	(G)
Acetato etílico	0.901	Cloro benceno	1.107
Acetaldehído	0.783	Clorato de sodio	2.163
Anilina	1.022	Etelin glicol	1.113
Acetona	0.741	Fenol	1.071
Ácido formico	1.220	glicerol	1.260
Ácido oxálico	1.90	Hidróxido de calcio	2.24
Acido acético	1.049	Isopentano	0.62
Agua	1.90	Metiletilcetona	0.805
Alcohol bencilico	1.045	Metil Acetato	0.933
Alcohol etílico	0.789	Metanol	0.792
Alcohol isopropil	0.785	Naftalina	1.145
Benzenato etílico	0.867	Nitro benceno	1.203
Benceno	0.879	Nitrato de sodio	2.257
Benzoldehído	1.046	n- Hexano	0.659
Carbonato de calcio	2.93	Tolueno	0.866

Para encontrar la gravedad específica de una solución se puede utilizar la siguiente formula:

$$\frac{1}{G_{SOL}} = \frac{\% \text{ Agua del componente 1}}{\text{Gravedad Especifica}(G)} + \frac{\% \text{ Agua del componente 2}}{\text{Gravedad Especifica}(G)}$$

EJEMPLO:

La Gravedad específica de 50% Etileno Glycol y 50% Solución de Agua:

$$\frac{1}{\text{gravedadespecifica}} = \frac{0.5}{1.0} + \frac{0.5}{1.113} = 1.05$$

4.4.1.2 SISTEMAS DE VAPOR:

Mediante las siguientes ecuaciones se puede calcular el C_v para la válvula requerida.

1. Determinar el ΔP

Para baja presión de vapor (15 PSI o menos) use un ΔP de 80% de la medida de la presión en la entrada.

$$\Delta P = 0.8 \times P_i \text{ (Pi en PSI).}$$

Para vapor a alta presión (mayor que 15 PSI) use un 42% de la presión absoluta en la entrada.

$$\Delta P = .42 \times P_i \text{ (Pi en PSIA).}$$

Pi = Presión absoluta en la entrada = la presión de Medida + 14.7

2. Calcule la presión absoluta a la salida (Po).

$$P_o = P_i - \Delta P$$

Pi = Presión absoluta en la entrada = la presión de Medida + 14.7

3. Calcule el coeficiente de la válvula (CV) de flujo.

$$C_v = \frac{Q}{3 \cdot (\sqrt{\Delta P \cdot P_o})}$$

Donde:

CV = coeficiente de Válvula de flujo.

Q= caudal por hora de vapor

ΔP = perdida de presión por la válvula abierta.

Po = Presión a la salida en PSI.

4.4.1.3 PARA VAPORES DIFERENTES DEL VAPOR DE AGUA

$$C = \frac{G}{63.4} \sqrt{\frac{V}{\Delta P}}$$

C_v = Coeficiente de válvula de flujo.

G = La gravedad específica.

ΔP = Perdida de presión por la válvula.

V = Volumen específico.

4.5. RUIDO EN LAS VALVULAS DE CONTROL

En los procesos industriales intervienen muchos factores que contribuyen a la generación de altos niveles de ruido, entre los cuales uno de los más importantes es el creado durante el funcionamiento de las válvulas de control instaladas en tuberías que transportan líquidos gases y vapores.

La alta velocidad de los fluidos en las tuberías es una causa importante del ruido en las válvulas. Sin embargo no pueden darse reglas de velocidad por la gran cantidad de variables que influyen. Como guía pueden considerarse los siguientes valores:

- Líquidos (1.5 – 3 m/s a 15 m/s).
- Gases (75-120 m/s hasta 0.3 Mach).
- Vapor de agua o vapores 20 – 30 m/s (hasta 2 bar), 30-50 m/s (saturado hasta 2bar).

Tres son las causa principales del ruido en las válvulas de control.

Vibración mecánica: Es debida a las fluctuaciones de presión causales que se producen dentro del cuerpo de la válvula y al choque del fluido contra las partes móviles de la misma. El ruido de esta vibración se parece a un golpeteo metálico y su frecuencia es normalmente menor a 1500 Hz problema que con el uso de válvulas de bola se disminuye notoriamente.

Ruido hidrodinámico: Es producido por los líquidos al circular a través de la válvula, pudiéndose encontrar en varios estados: sin cavitación, con

cavitación, con vaporización, sin embargo es fácil evitarse seleccionando adecuadamente los límites en las condiciones de servicio.

Ruido aerodinámico: Es la causa principal del ruido producido por la válvula, proveniente del flujo turbulento del vapor, del aire y de otros gases, siendo despreciable prácticamente en los líquidos. El ruido aerodinámico puede producirse por obstrucciones en el flujo del fluido, por expansión rápida o deceleración del gas a alta velocidad al salir de la válvula, o por codos o curvas bruscas existentes en el sistema de tuberías. Si el fluido alcanza la velocidad del sonido (1 Mach) se crean altos niveles de ruido; sin embargo, también pueden generarse ruidos importantes a velocidades tan bajas como 0.4 Mach y a bajas pérdidas de carga con grandes caudales. El ruido aerodinámico es aperiódico, con frecuencias comprendidas entre 2000 y 8000 Hz.

5. DISEÑO DEL ACTUADOR

La función del actuador es ejercer una acción directa sobre el proceso, para ello posiciona la válvula en el lugar que se desee de esta manera controlar el flujo que pasa por ella, para lograr este objetivo el diseño del actuador se divide en dos partes:

- Diseño de la transmisión mecánica
- Diseño electrónico del actuador.

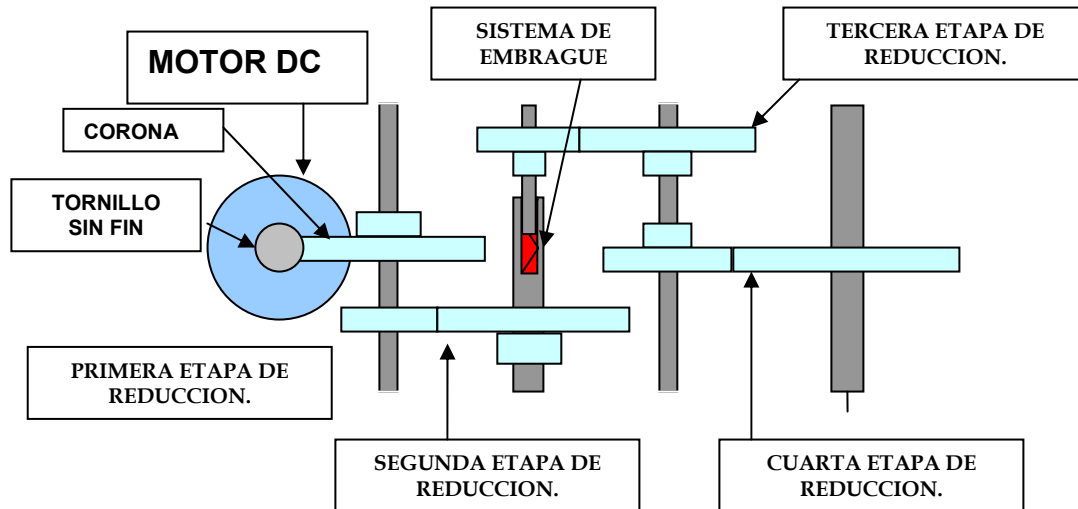
5.1 Diseño de la transmisión mecánica.

La función de la transmisión mecánica es: *reducir velocidad y aumentar torque*, además de satisfacer otras necesidades como son:

- ✓ Relaciones altas de velocidad en poco espacio.
- ✓ Funcionamiento silencioso
- ✓ Bajo costo.
- ✓ Facilidad de montaje y mantenimiento.

Por esta razón se optó por un mecanismo de transmisión mecánica que consta de un sistema de tornillo sin fin corona acoplado a un tren de engranajes rectos. El esquema de transmisión mecánica es el mostrado en la figura N° 11.

Figura 11. Esquema de la transmisión mecánica



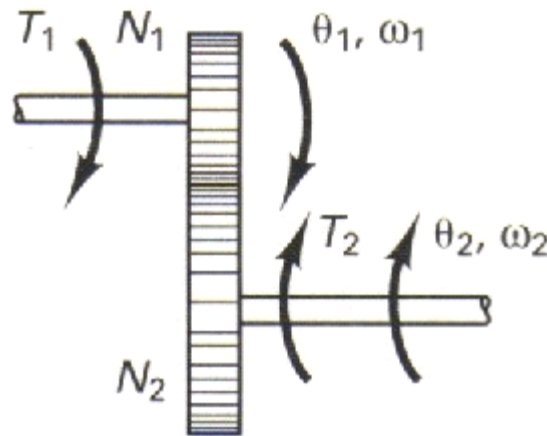
El mecanismo de tornillo sin fin se conecta a un elemento especial llamado engranaje de gusano o corona sin fin, cuyo eje de rotación es perpendicular al del mecanismo de tornillo sin fin. Como el mecanismo de tornillo sin fin impulsor tiene un solo diente, la relación de engranaje es igual a uno dividido entre el número de dientes del engranaje del mecanismo de tornillo sin fin. En nuestro caso esto sería $1/180$.

Tienen la ventaja de poseer relaciones de engranaje muy altas en un pequeño volumen de conjunto y pueden soportar cargas muy elevadas, especialmente en sus formas de envolvente simple o doble. Una desventaja en cualquier tornillo sin fin es que tiene muy altos deslizamientos y cargas de empuje lo que hace que su eficiencia baje de 40 a 85%.

Los sistemas de reducción de engranajes se utilizan normalmente con motores en un intento de optimizar la potencia que se dispone a velocidades

altas. Aunque existen muchos tipos diferentes de configuraciones de engranajes, las relaciones fundamentales se describen utilizando un par de ruedas dentadas tal como se ilustra en la Figura 12. Como las fuerzas aplicadas y de carga sobre los dientes del engranaje que están en contacto son iguales, la magnitud de los pares respectivos debe estar en proporción directa al radio. La relación de los radios es, por supuesto, igual a la relación de las circunferencias.

Figura 12. Par de engranajes dentados



Por lo tanto, la relación del par aplicado al par transmitido es igual a la relación del número de dientes del engranaje, tales que:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

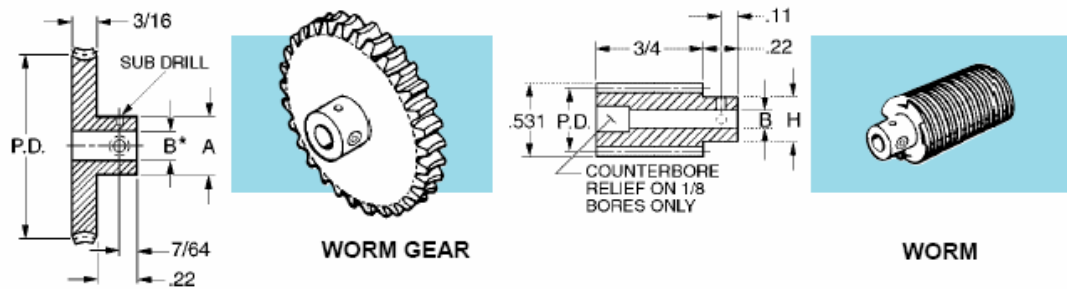
Donde N es el número de dientes. Con la rotación de los engranajes, las distancias recorridas a lo largo de las circunferencias deben ser iguales y esta igualdad se puede plantear en términos del producto del cambio en ángulo y el radio tal que $\Theta_1 R_1 = \Theta_2 R_2$. Derivando con respecto al tiempo se obtiene $\omega_1 R_1 = \omega_2 R_2$. Para evitar el signo menos, la dirección de movimiento que se

supone positiva se invierte para el segundo engranaje. Si las relaciones de los radios se sustituyen por relaciones de dientes, entonces

$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

Así, el par cambia en proporción directa a la relación de dientes y la velocidad angular en proporción inversa a dicha relación.

Figura 13. Corona y el tornillo sin fin seleccionados del catalogo SDP-SI.



5.1.1. EFICIENCIA DEL TORNILLO SIN FIN

$$\eta = \frac{\cos \phi_N - f \cdot \tan \lambda}{\cos \phi_N \cdot \tan \lambda + f} \cdot \tan \lambda$$

La velocidad tangencial en el diámetro del tornillo sin fin es:

$$V_t = \frac{\pi \cdot n \cdot d}{12 \cdot \cos \lambda} \text{ (f.p.m)}$$

El diámetro del tornillo sin fin es 0.5 pulg. Y gira a 1080 rpm @ 7.2 voltios aplicados al motor de corriente continua que se acopla directamente al tornillo sin fin.

$$V_t = \frac{\Pi \cdot 1080 \cdot 0.5}{12 \cdot \cos 3.35^\circ}$$

$$V_t = 141.6 \text{ fpm}$$

$$\text{Como } 70 < V_t < 3000 \text{ fpm} \rightarrow f = \frac{0.32}{V_t^{0.36}}$$

$$f = \frac{0.32}{141.6^{0.36}}$$

$$f = 0.053$$

$$\eta = \frac{\cos(14.5^\circ) - 0.053 \cdot \tan(3.35^\circ)}{\cos(14.5^\circ) \cdot \tan(3.35^\circ) + 0.053} \cdot \tan(3.35^\circ)$$

$$\eta = 52\%$$

Donde η es la eficiencia del tornillo sin fin – corona.

5.1.2 POTENCIA DE ENTRADA

Voltaje de entrada = 7.2 V

Corriente de motor = 250 mA.

$$P_e = V_e \cdot i_m = 7.2 \text{ V} \cdot 250 \text{ mA}$$

$$P_e = 1.8 \text{ WATTS}$$

La potencia de entrada máxima se calcula con una corriente máxima permisible por el motor de 0.5 Amp luego $P_{\max} = 3.6 \text{ Watts}$.

5.1.3 CALCULO DEL TORQUE DE OPERACIÓN DEL ACTUADOR

La potencia de entrada es 1.8 Watts = $2.413 \times 10^{-3} \text{ Hp}$.

La eficiencia total del sistema es el producto de la eficiencia del tornillo sin fin corona y de los engranajes rectos luego:

$$\eta_{\text{sistema}} = \eta_{\text{sin fin}} \cdot \eta_{\text{e.rectos}}$$

$$\eta_{\text{sistema}} = 0.52 \cdot 0.98 = 0.51 = 51\%$$

$$Pot_{\text{entrada}} \cdot \eta_{\text{sistema}} = Pot_{\text{salida}}$$

$$Pot_{\text{entrada}} \cdot \eta_{\text{sistema}} = \frac{T_s \cdot N_s}{63000}$$

$$2.413 \times 10^{-3} \text{ Hp} \cdot 0.51 = \frac{T_s \cdot 0.25 \text{ rpm}}{63000}$$

$$T_s = 310 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

El torque máximo de operación se calcula de igual forma a los cálculos anteriores pero con una $P_{\max} = 3.6$ Watts y su resultado será el doble del torque de operación.

$$T_{s \text{ max imo}} = 620 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

5.1.4 CALCULO DEL TIEMPO DE APERTURA DEL ACTUADOR

$$\omega_{MOTOR} = 1080 \text{ rpm}$$

$$n_{\text{sin fin corona}} = 180 \text{ (Relación en el tornillo sin fin corona).}$$

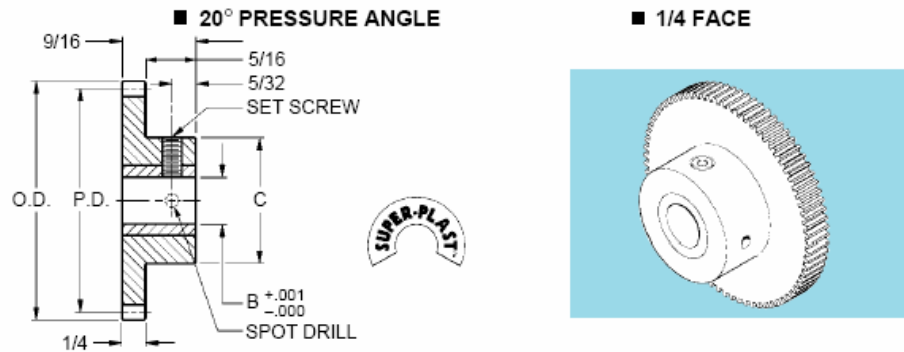
$$n_{\text{engranajes rectos}} = 24 \text{ (Relación de los engranajes rectos).}$$

$$\omega_{\text{salida}} = \frac{\omega_{MOTOR}}{n_{\text{sin fin corona}} \cdot n_{E \text{ rectos}}} = \frac{1080}{180 \cdot 24} = 0.25 \text{ rpm}$$

La velocidad angular del eje del actuador es 0.25 rpm y dado que nuestra válvula gira tan solo $\frac{1}{4}$ de vuelta el tiempo exacto de apertura y cerrado es 60 seg.

A continuación se muestran los engranajes seleccionados según catalogo para obtener la relación de velocidad deseada. (Ver anexo N°1).

Figura 14. Engranajes seleccionado catalogo sdp- si.



Sus respectivos números en el catalogo son (ver anexo N°1):

A 1T 2-Y24020 Cantidad 4.

A 1T 2-Y24030 Cantidad 2.

A 1T 2-Y24060 Cantidad 4.

5.1.5 CALCULO DE FUERZAS EN EL TORNILO SIN FIN Y LA CORONA

$$n_w = 1080 \text{ RPM}$$

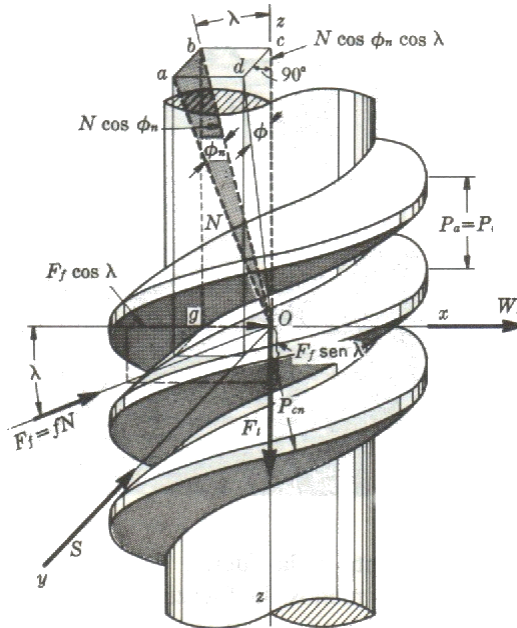
$$n_g = 6 \text{ RPM}$$

$$w_x = w \cdot (\cos \phi_N \cdot \sin \lambda + \mu \cdot \cos \lambda) \quad (1)$$

$$W_y = W \cdot \sin \phi_N \quad (2)$$

$$W_z = W \cdot (\cos \phi_N \cdot \cos \lambda - \mu \cdot \sin \lambda) \quad (3)$$

Figura 15. Fuerzas que actúan en un tornillo sin fin



W_X = Carga axial en la corona.

W_Z = Carga tangencial en la corona.

W_Y = Carga radial del sin fin y la corona.

5.1.5.1 POTENCIA DE ENTRADA

$$P_E = \frac{W_X \cdot V_{\text{TORNILLO}}}{33000} \quad (4)$$

$$P_E = V \cdot i \quad (5)$$

5.1.5.2 VELOCIDAD DEL TORNILLO

$$V_{\text{TORNILLO}} = \frac{\pi \cdot d_w \cdot n_w}{12} \quad (6)$$

$$V_{TORNILLO} = \frac{\pi \cdot 0.5 \cdot 1080}{12}$$

$$V_{TORNILLO} = 141.3 \text{ FPM}$$

De la ecuación (5)

$$P_E = 7.2 \cdot 0.25 = 1.8 \text{ WATTS} = 2.41 \times 10^{-3} \text{ hp.}$$

De la ecuación (4)

$$P_E = \frac{W_X \cdot V_{TORNILLO}}{33000}$$

$$W_X = \frac{P_E \cdot 33000}{V_{TORNILLO}}$$

$$W_X = \frac{2.41 \times 10^{-3} \cdot 33000}{141.37}$$

$$W_X = 0.563 \text{ Lbs}$$

5.1.5.3 COEFICIENTE DE FRICCION ENTRE LA CORONA Y EL TORNILO SIN FIN

$$\mu = \frac{032}{V_{TORNILLO}^{0.36}} \quad (7)$$

$$\mu = \frac{032}{141.3^{0.36}} = 0.0538$$

De la ecuación (1)

$$w_x = w \cdot (\cos \phi_N \cdot \sin \lambda + \mu \cdot \cos \lambda)$$

$$W = \frac{w_x}{(\cos \phi_N \cdot \sin \lambda + \mu \cdot \cos \lambda)}$$

$$W = \frac{0.563}{(\cos 14.5^\circ \cdot \sin 1.47^\circ + 0.0538 \cdot \cos 1.47^\circ)}$$

$$W = 7.16 \text{ Lbs}$$

De la ecuación (2)

$$W_y = W \cdot \sin \phi_N$$

$$W_y = 7.16 \cdot \sin 14.5^\circ$$

$$W_y = 1.79 \text{ Lbs}$$

De la ecuación (3)

$$W_z = W \cdot (\cos \phi_N \cdot \cos \lambda - \mu \cdot \sin \lambda)$$

$$W_z = 7.16 \cdot (\cos 14.5^\circ \cdot \cos 1.47^\circ - 0.0538 \cdot \sin 1.47^\circ)$$

$$W_z = 6.92 \text{ Lbs}$$

5.1.5.4 SELECCIÓN DEL TIPO DE RODAMIENTOS

Cada tipo de rodamiento tiene propiedades características que lo hacen particularmente adecuado para ciertas aplicaciones. Hay muchos casos en

que al menos una de las dimensiones principales del rodamiento generalmente el diámetro del agujero viene determinado por las características de diseño de la maquina a que va destinado; en este caso obedeciendo a las dimensiones de los ejes de la transmisión de engranajes.

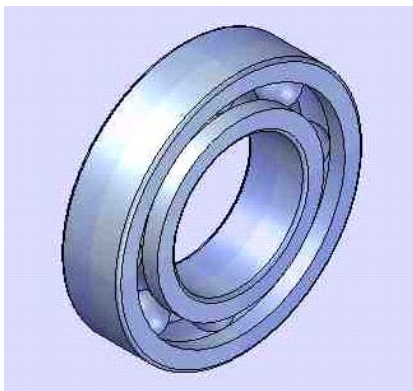
Normalmente el factor mas importante para determinar el tamaño del rodamientos es la magnitud de las cargas actuantes sobre el; debido a que el estudio de cargas sobre todo el sistema de la transmisión es relativamente baja. Se han seleccionado rodamientos rígidos de bola cuya designación Corresponde a:

Tabla 2. Designación según SKF

DESIGNACION SEGÚN SKF	CANTIDAD	DIÁMETRO EXTERIOR mm	DIÁMETRO INTERIOR mm
618/8	4	16	8
625	1	16	5
608	1	22	8

Cuyas capacidades dinámica, estática y límites de velocidad están muy por encima de los requerimientos de diseño de la transmisión mecánica de la válvula.

Figura 16. Rodamientos rígidos de bolas



5.2. DISEÑO ELECTRONICO DEL ACTUADOR

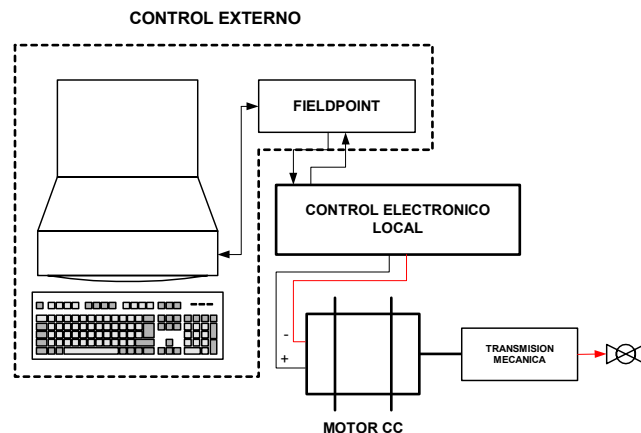
5.2.1. GENERALIDADES

La función del control electrónico es controlar la posición de la válvula para de esta manera obtener el caudal deseado a través de esta y poder controlar de esta manera algunas variables en determinados procesos como la temperatura de salida del agua en un intercambiador de calor. El control electrónico del actuador corresponde a una estructura de control del tipo supervisorio y se divide en dos partes fundamentales:

- *Control electrónico local.*
- *Control externo.*

La orden de posicionamiento viene dada por el control externo a través de una señal entre 0 y 20 mA y es entregada al control electrónico local que es el encargado de dar la orden al motor eléctrico para iniciar detener o invertir su movimiento y de esta forma ubicar la válvula en la posición deseada

Figura 17 .Diagrama de funcionamiento del actuador

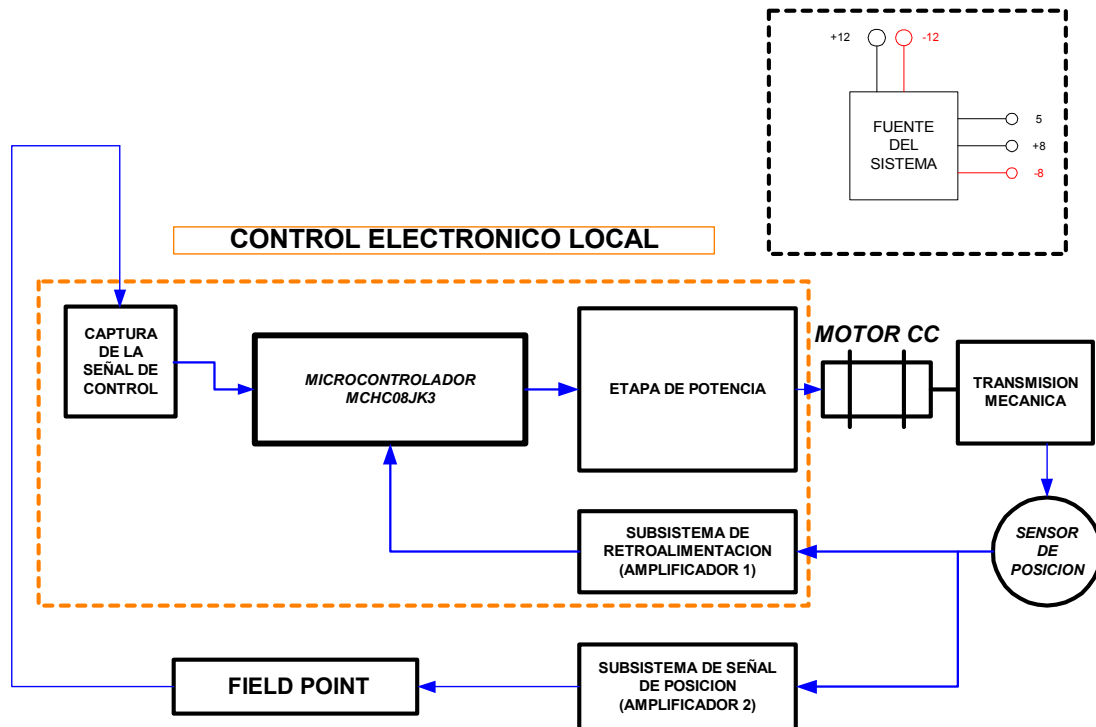


5.2.2 CONTROL ELECTRÓNICO LOCAL

El control electrónico local esta conformado por los siguientes elementos:

1. Microcontrolador
2. Subsistema de potencia.
3. Subsistema para la captura de la señal de control.
4. Subsistema para la señal de retroalimentación (Amplificador de señal 1)
5. Subsistema de señal de posición. (Amplificador de señal 2)
6. Subsistema para la fuente del sistema

Figura 18. Esquema del control electrónico



5.2.2.1 MICROCONTROLADOR

En el diseño del control electrónico digital de esta válvula habían varios aspectos a tener en cuenta para escoger un microcontrolador que cumpliera con los requerimientos del diseño, dichos parámetros son poseer conversores análogos-digitales, una pila de datos para poder programar desde un compilador de C, suficiente disposición de puertos, baja relación señal a ruido y además que fuese muy comercial; encontrando el dispositivo MCHC08JK3 como la principal opción en el desarrollo de este proyecto.

La función del microcontrolador es comparar las señales, sensor, servir de conversor análogo digital, controlar (señales del motor-baja potencia), detectar la alimentación del sistema.

El microcontrolador se programo utilizando el siguiente programa compilador:

El compilador que se utilizo para realizar el programa fue "Code Warrior" el cual permite configurar el microcomtrolador por medio de lenguaje C. El programa es el siguiente:

*Este lazo infinito garantiza que el controlador este repitiendo la rutina siempre.
Se pregunta por entrada de alimentación en caso afirmativo es porque la batería esta supliendo el circuito y por lo tanto se prosigue ha cerrarla.*

```

for(;;)
{
  if (PTB_PTB7= = 0)
  then
  {
    PTB_PTB5= 1;
    PTB_PTB6= 0;
  }

```

El puerto PTB_PTB5 y PTB_PTB6, son las salidas para el motor, por tanto cuando las dos están en cero (0) el motor esta quieto, si alguna esta en uno (1) el motor girara en un sentido o en otro, teniéndose cortocircuito cuando ambas están en uno (1), siendo la anterior una combinación prohibida.

En caso de encontrarse la válvula en condiciones normales de alimentación se prosigue ha pararla y consultar el estado de la misma.

```

else
{
  PTB_PTB5= 0;
  PTB_PTB6= 0;
  ADRSCR =1;

```

La función adscr activa el conversor análogo-digital del puerto PTB1 el cual tiene la información procedente del computador, esta infomacon se almacena en la variable Vr.

```

do
{
}
while(AD_COCO= = 0);
Vr = ADSCR;
ADRSCR =0;

```


Nuevamente el conversor es activado pero en esta ocasión se autorizo fue al puerto PTB0, donde se encuentra conectado el potenciómetro o señal de realimentación siendo almacenada en Vc.

Cuando la conversión ha sido realizada, el microcontrolador activa una señal llamada bandera AD_COCO (activándola en cero) la cual esta normalmente en uno.

```
do
{
}
while(AD_COCO= 0);
Vc = ADSCR;
if(Vc>Vr)
```

Se pregunta quien es mayor si el voltaje de referencia o el voltaje de realimentación, si el voltaje de realimentación es mayor se prosigue cerrar la válvula...

```
them
{
    PTB_PTB5= 1;
    PTB_PTB6= 0;
}
elseif(Vc<Vr)
```

Pero si es menor se prosigue a abrirla como en esta ocasión...

```
them
{
    PTB_PTB5= 0;
    PTB_PTB6= 1;
```

```

    }
    else
    {
        PTB_PTB5= 0;
        PTB_PTB6= 0;
    }
}

```

Si no es ni mayor ni menor es por que es igual teniendo que parar la válvula.

5.2.2.2. SUBSISTEMA DE POTENCIA

El subsistema de potencia es el encargado de operar el motor de CC de acuerdo a la orden enviada por el microcontrolador

Para nuestro sistema de control se empleo un el *motor de CC* de imán permanente controlado por inducido. La operación de un motor CC con control por inducido proporciona una relación casi lineal de la velocidad en estado estacionario con respecto a la tensión de entrada en un rango de velocidad que va desde cero hasta la velocidad angular nominal máxima. La dirección de rotación (bajo condiciones de estado estacionario) es dependiente de la polaridad de la tensión de entrada. A continuación se dan las especificaciones técnicas del motor

Marca: Johnson electric.

Voltaje: 7.2 V

Corriente de trabajo: 250 mA

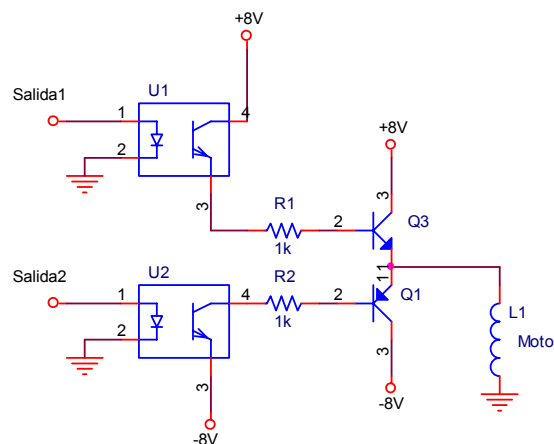
Corriente maxima: 0.5 A

Potencia: 1.8 Watts

Potencia máxima: 3.6 Watts

Para ésta etapa se tuvo en cuenta como principal argumento de diseño un punto de polarización y operación adecuado al motor, es decir, un punto de operación con salida en el colector de 7.2 V y un punto de polarización de $\pm 8V$ evitando así la utilización de un puente H y utilizando una salida clase AB debido a las altas corrientes de base se diseño una etapa opto-aisladora teniendo como dispositivo el fototransistor T41 teniendo así el siguiente circuito.

Figura 19. Circuito etapa de potencia.



5.2.2.3 SUBSISTEMA PARA LA CAPTURA DE LA SEÑAL DE CONTROL

Debido a que existían dos formatos posibles americano (0mA-20mA) y europeo (0V-10V), se utilizaron los dos formatos ya que el controlador se hizo utilizando el *hardware Field Point* y el *software Delfi* el cual nos permite recibir señales en los dos sistemas, pero la salida solo se puede hacer en el formato americano.

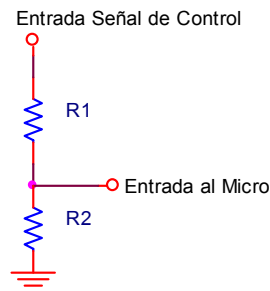
Como el conversor análogo-digital de nuestro microcontrolador reconoce tensiones que oscilan entre 0 y 5V, debemos atenuar nuestra señal de control en 1/2, teniendo la siguiente relación:

$$V_{in} = \frac{V_s * R1}{R1 + R2}.$$

Donde Vs es la señal de control y Vin es la señal de control atenuada.

Para la escogencia de R1 y R2 se tuvo en cuenta como principal aspecto el consumo de corriente Ya con este resultado nuestro circuito es el siguiente:

Figura 20. Circuito para la captura de la señal de control.



5.2.2.4 SUBSISTEMA PARA LA SEÑAL DE RETROALIMENTACIÓN DEL SISTEMA (AMPLIFICADORES).

El empleo de un motor CC requiere diseño de un sistema de realimentación que utiliza información angular precisa tal como se obtiene empleando un codificador óptico u otro tipo de sensor de posición.

Para poder ubicar la posición instantánea de la válvula hemos acoplado un *potenciómetro lineal de 1 KΩ de 0 a 10 V*, dicho potenciómetro se encuentra

alimentado con una tensión de 11V. A continuación se dan los datos técnicos del sensor de posición (Potenciómetro).

Marca: Spectrol Jameco.

Modelo: 534

Tipo: lineal 10 vueltas

Resistencia 1K Ω

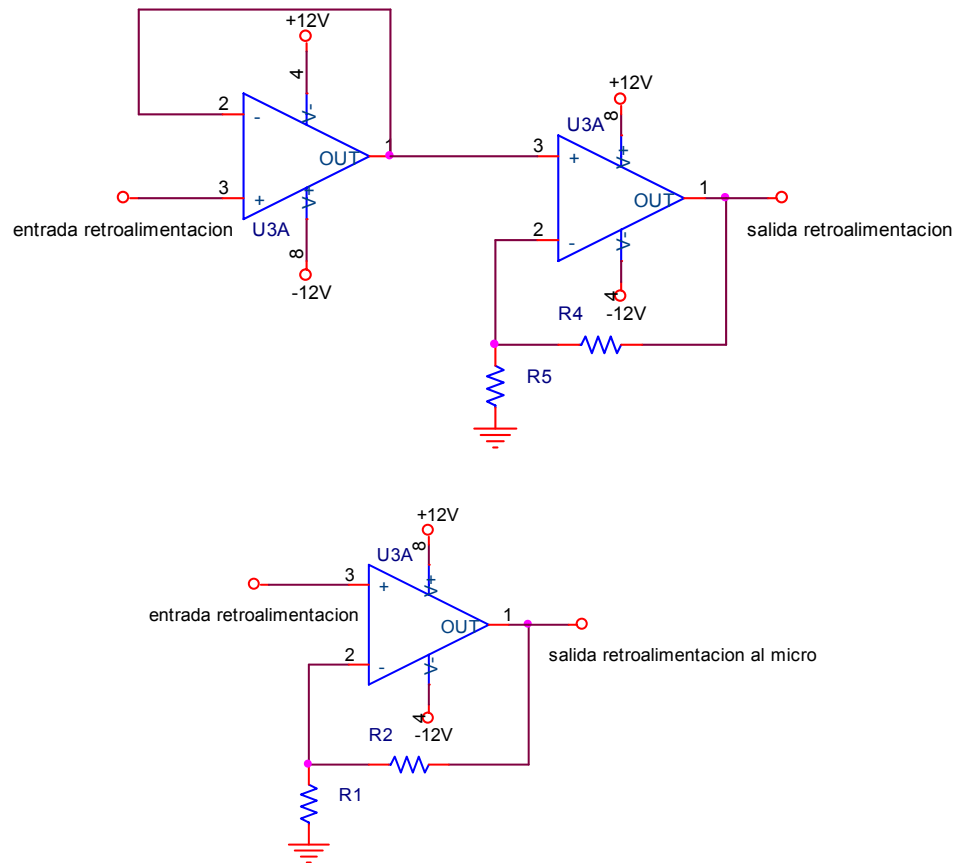
Linealidad: +- 0.25%

Cuando la válvula se encuentra totalmente abierta obtenemos una señal de 10V y cuando está totalmente cerrada la señal es de 0 V, por esta razón nos sentimos en la obligación de amplificar esta señal en un factor de 5 utilizando como dispositivo el amplificador operacional LM741 en configuración no inversora teniendo como relación $V_{out} = \left[1 + \frac{R2}{R1} \right] * V_r$ con $R1 = 250\Omega$ y $R2 =$

1K Ω y V_r es la tensión de retroalimentación y V_{out} es la tensión de retroalimentación escalado en 5. Se ha realizado una salida externa con un tensión entre 0 y 10 V la cual indica la posición donde se encuentra la válvula en esta oportunidad se han dispuesto dos amplificadores LM741 uno en configuración seguidor de voltaje y otro como amplificador no inversor con $R1 = 1K\Omega$ y $R2 = 9K\Omega$.

Para las anteriores dos descripciones tenemos los siguientes dos circuitos

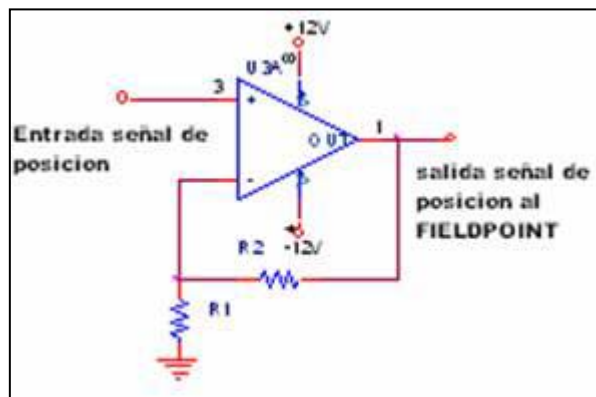
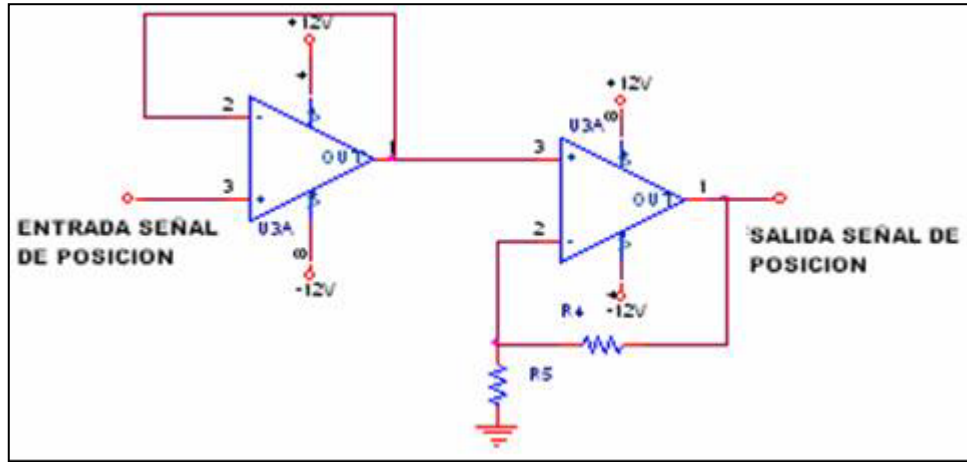
Figura 21. Señal de retroalimentación del sistema.



5.2.2.5 SUBSISTEMA SEÑAL DE POSICION DEL SISTEMA (AMPLIFICADOR 2)

El análisis y el circuito de este amplificador 2 es idéntico al de retroalimentación (amplificador 1) por tal razón se omitirá el análisis de este. En la figura 19 se presenta el circuito correspondiente a este amplificador

Figura 22. Señal de posición.

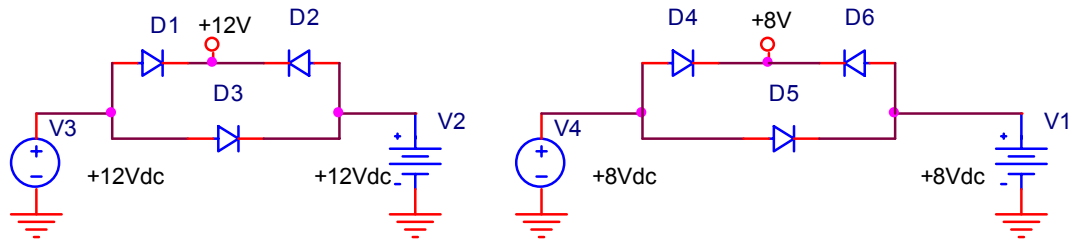


5.2.2.6 SUBSISTEMA PARA LA FUENTE DEL SISTEMA

Para minimizar los problemas de ruido generados por el motor se optó por diseñar una fuente en la cuál cada sistema tuviese alimentación independiente (aislarlos eléctricamente); dicha fuente consta de un transformador con 5 salidas (0 a 5V, 0 a $\pm 8V$, 0 a $\pm 12V$). La primera es utilizada para la alimentación del microcontrolador, la segunda y tercera alimentan al circuito de potencia del motor, la cuarta y quinta alimenta el sistema de retroalimentación del sistema (amplificadores operacionales), el

transformador construido tiene una bobina de apantallamiento para evitar acoples magnéticos que generan ruido degenerativo. Previendo posibles fallas del sistema eléctrico se ha provisto el sistema de un banco de baterías capaces de cerrar la válvula en ese momento, para esta función se ha diseñado un acople eléctrico con diodos de Germanio. La siguiente figura ilustra el circuito de la fuente:

Figura 23. Fuente del sistema.



La figura 24 muestra el circuito completo de el control electrónico y los diferentes componentes utilizados en el.

La figura 25 muestra la tarjeta de l control local del sistema.

Figura 24. Circuito completo del control electrónico.

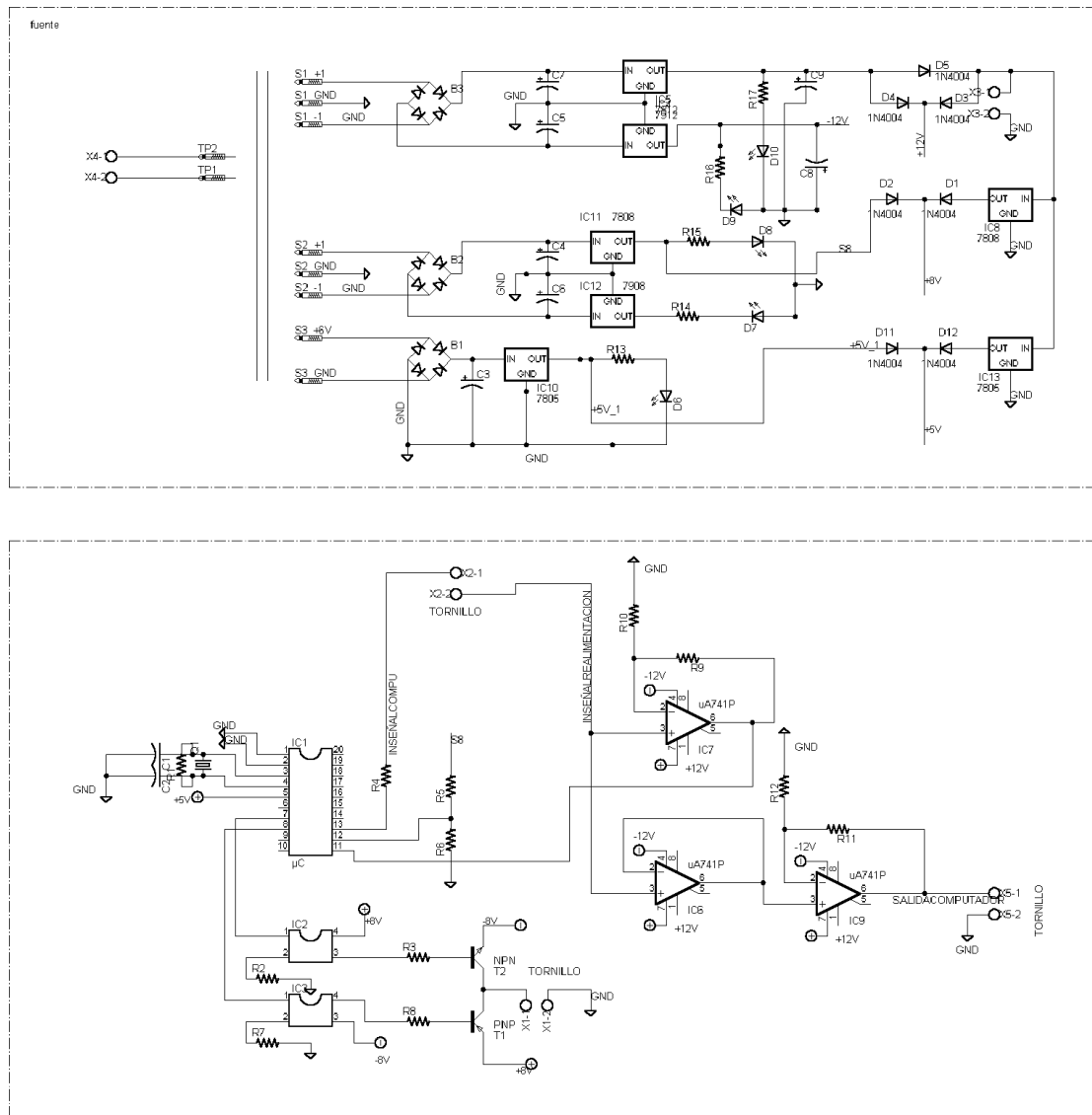
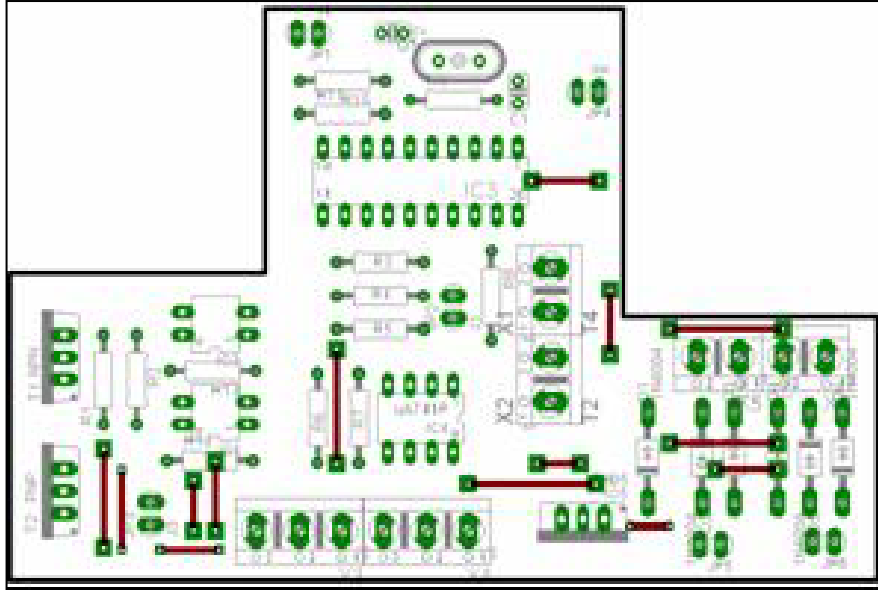


Figura 25. Tarjeta del control local del sistema.



5.2.3 CONTROL EXTERNO

El objetivo del control externo es recibir las señales del control local, a través de un sistema de adquisición de datos en este caso este sistema es el Field Point, luego la computadora compara las señales retroalimentadas con las señales de referencia ("set point") previamente generadas o tecleadas. Después la computadora calcula la acción del control usando un algoritmo predeterminado (ver anexo E) y manda la demanda de manipulación al control local en señales de 0 a 20 mA. El control externo esta conformado por 2 partes:

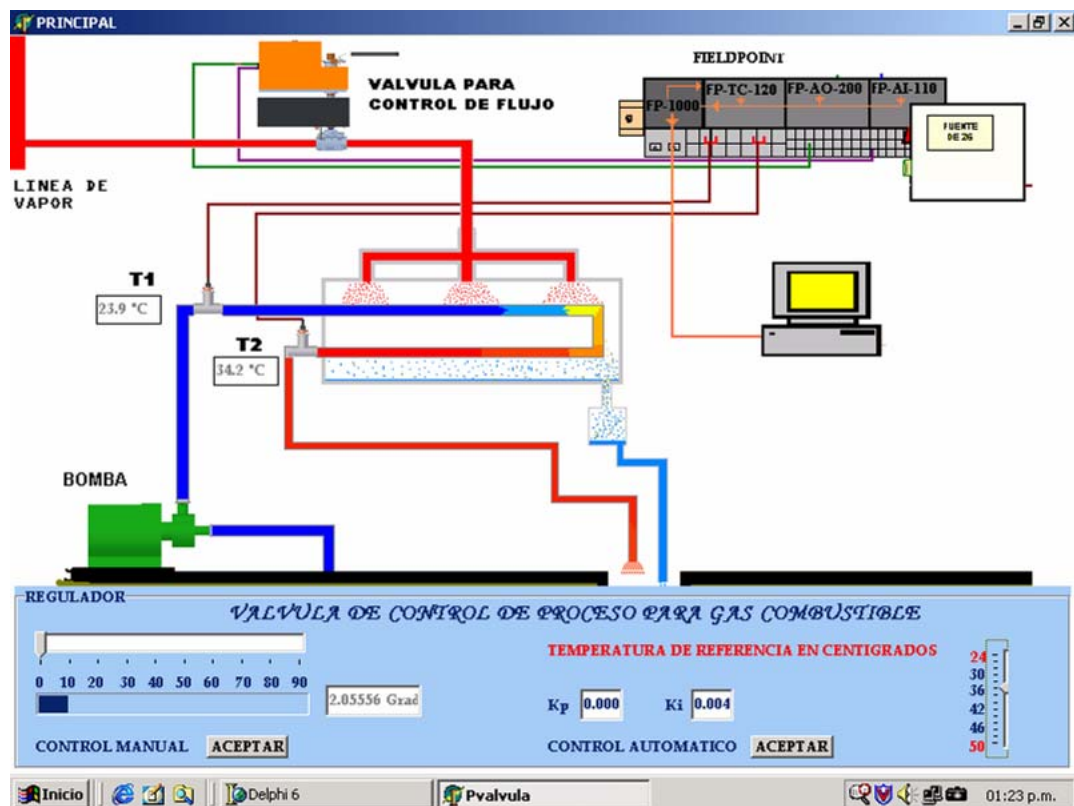
1. Software.
2. Hardware.

5.2.3.1 SOFTWARE

El software se hizo utilizando como lenguaje de programación *DELPHI*. Posee dos alternativas un control manual y un control automático o controlador en si. Mediante el control manual la válvula puede posicionarse en cualquier ángulo entre 0 y 90° y de esta manera controlar el caudal. Por otra parte el control automático me permite controlar una variable en este caso la temperatura de salida del agua en un intercambiador mediante el uso de un controlador PID

A continuación se muestra la pantalla principal del software encargado de realizar el control supervisorio.

Figura 26. Pantalla principal controlador.



El control manual del software permite el posicionamiento de la válvula a través de la barra deslizante de la izquierda, el seguidor que se encuentra justo debajo de la barra deslizante muestra el progreso en la posición de la válvula.

El control automático (parte derecha de la pantalla) realiza el control de la variable en este caso la temperatura de salida del agua en el intercambiador de calor. El set point es introducido al controlador mediante la barra deslizante vertical de la derecha y esta en un intervalo de temperaturas entre 24 ° C y 50 °C. Las constantes proporcionales e integrales son introducidas al sistema de control mediante digitación directa. Para dar inicio al programa siempre hay que pulsar el botón aceptar y el controlador iniciara su respectiva rutina.

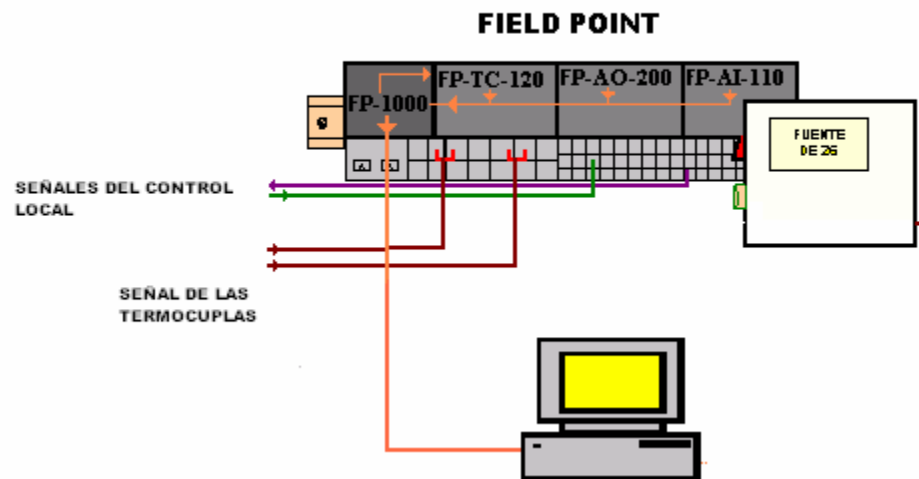
5.2.3.2 HARDWARE

El hardware utilizado esta compuesto de una *computadora*, un sistema para recolección de señales que es el *Field Point*, dos *termocuplas tipo J* y un *sensor de posición*.

El *FIELD POINT* consta de tres módulos el primer modulo FP-TC-120 se encarga de capturar las señales de los sensores de temperatura en este caso las termocuplas. El segundo modulo el FP-AO-200 es el encargado de enviar la señal de posicionamiento al control local del actuador electrónico, y el tercer modulo el FP-AI-110 captura la señal de posición de la válvula mediante el sensor de posición.

El FIELD POINT transmite todos los datos ala computadora y esta a su vez envía la señal de la acción de control de nuevo al FIELD POINT para que este la haga llegar al control electrónico local

Figura 27. Esquema del control externo.



5.3 ESPECIFICACIONES GENERALES VALVULA DE CONTROL DE PROCESOS PARA GAS COMBUSTIBLE.

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LA VÁLVULA	
TIPO	Bola $\frac{3}{4}$, normalmente cerrada
PRESION MAXIMA	1000 PSI
TEMPERATURA MAXIMA	220 °C
MATERIAL	Acero inoxidable
MATERIAL DEL SELLO	Teflón.
ESPECIFICACIONES DEL ACTUADOR	
TIPO	Electrónico
TORQUE	310 lb-in
ANGULO DE ROTACION	90°
MAXIMA POTENCIA	3.6 Watts
TIEMPOS	
ABRIENDO	1, 09 min
CERRANDO	1, 15 min
CIERRE DE EMERGENCIA	1,15 min

6. CARACTERIZACION DE LA VÁLVULA DE CONTROL

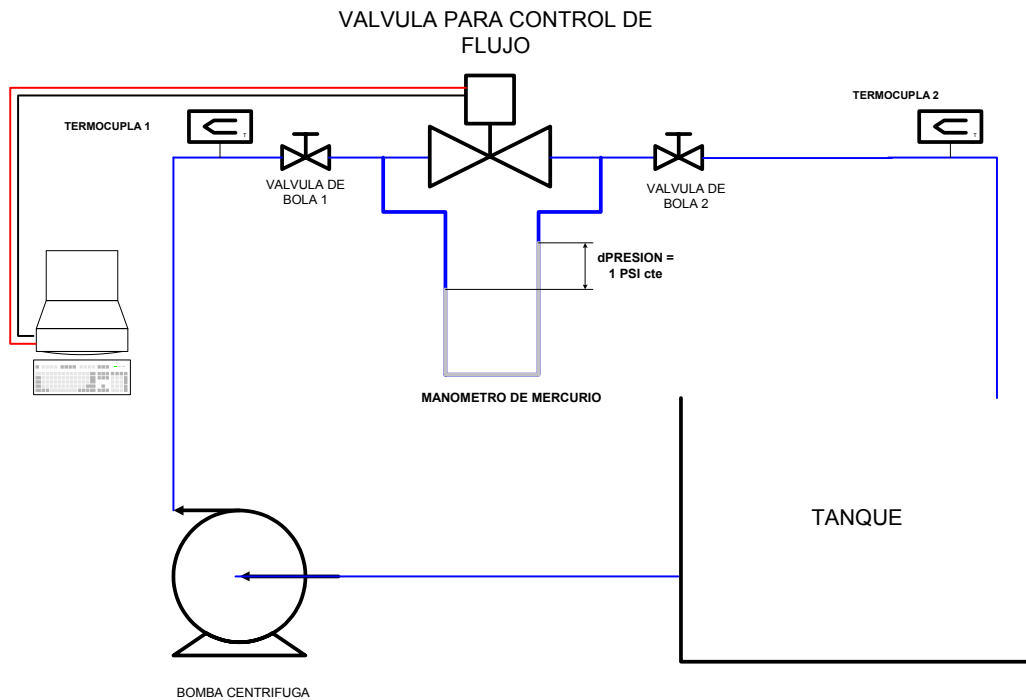
6.1 CARACTERISTICAS DE CAUDAL EFECTIVAS

Hay que señalar que la mayor parte de las válvulas que trabajan en condiciones reales, la presión diferencial cambia cuando varía la apertura de la válvula con el caudal, se aparta de la característica de caudal inherente es decir un fluido incomprensible fluyendo en condiciones de presión diferencial constantes. Esta nueva curva recibe el nombre de característica de caudal efectiva.

Como la variación de presión diferencial señalada depende de las combinaciones entre la resistencia de la tubería, y las características de las bombas y tanques del proceso, es evidente que una misma válvula instalada en procesos diferentes presentara inevitablemente curvas características efectivas distintas.

Para nuestro caso se llevo a cabo la caracterización de la válvula de control utilizando el montaje que se muestra en la figura 28 manteniendo la presión constante a través de la válvula a 1 psi que se midió con una columna de mercurio cómo lo muestra la figura y haciendo pasar agua a través de ella mediante una bomba centrífuga, variando la apertura de la válvula y manteniendo el ΔP constante en un circuito cerrado.

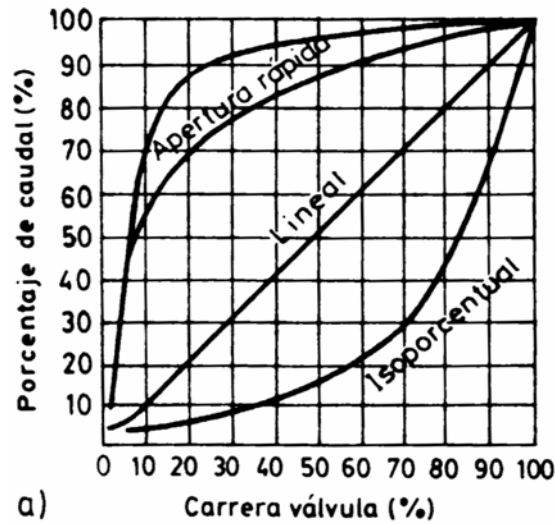
Figura 28. Esquema de la prueba.



6.2 CARACTERISTICAS DE FLUJO EN UNA VALVULA DE CONTROL

La característica de flujo de la válvula de control se define como la relación entre el flujo a través de la válvula y la posición de la misma conforme varía la posición de 0 a 100%. Cambiando la forma del asiento y del orificio de la válvula, pueden obtenerse diferentes relaciones entre la posición del vástago y el área de flujo. Existen tres tipos principales de característica de flujo: lineal, de igual porcentaje y de apertura rápida. En la figura se muestran los tres tipos de características de flujo.

Figura 29. Curvas características de flujo.



6.2.1 CARACTERISTICAS DE FLUJO LINEAL

La característica de flujo lineal produce un flujo directamente proporcional al desplazamiento de la válvula o posición de la válvula; con un 50% del desplazamiento, el flujo es el 50% del flujo máximo. Según la ecuación:

$$q = K \cdot l$$

q = caudal a pérdida de carga constante.

K = constante.

L = carrera de la válvula

6.2.2 CARACTERISTICAS DE IGUAL PORCENTAJE

La curva isoporcentual se caracteriza porque al principio de la carrera de la válvula, la variación de caudal es pequeña, y al final, pequeños incrementos en la carrera se traducen en grandes variaciones de caudal.

6.2.3 CARACTERISTICA DE FLUJO DE APERTURA RAPIDA

Esta característica produce un gran flujo con un pequeño desplazamiento de la válvula. Básicamente la curva es lineal en la primera parte del desplazamiento con una pendiente pronunciada.

La razón básica para el uso de diferentes pendientes en las válvulas de control es la de mantener el lazo de control estable en el mayor rango de flujos posible.

Las válvulas con pendiente lineal son utilizadas por ejemplo, cuando la caída de presión sobre la válvula de control es bastante constante y una relación lineal existente entre la variable controlada y el flujo de la variable manipulada.

Las válvulas de pendiente de igual porcentaje son frecuentemente utilizadas cuando la caída de presión sobre la válvula de control no es constante esto ocurre cuando existen otras piezas de equipo en el sistema actuando como resistencias fijas la caída de presión sobre estas partes del proceso varia con el cuadrado del flujo.

A flujos bajos, la mayor parte de la caída de presión se toma sobre la válvula de control ya que la caída en el resto del equipo del proceso es baja. Cuando los flujos son altos, la caída de presión sobre la válvula de control es baja. En esta situación la pendiente de igual porcentaje tiende a dar una mayor relación lineal entre el flujo y la posición de la válvula de control.

Las válvulas de control no trabajan muy bien cuando se encuentran por debajo del 10% de apertura. Pueden volverse mecánicamente inestables, cerrando completamente y luego abriéndose parcialmente, con fluctuaciones en el flujo indeseables. Por lo anterior, por lo general el diseño debe hacerse para una operación mínima del 10%.

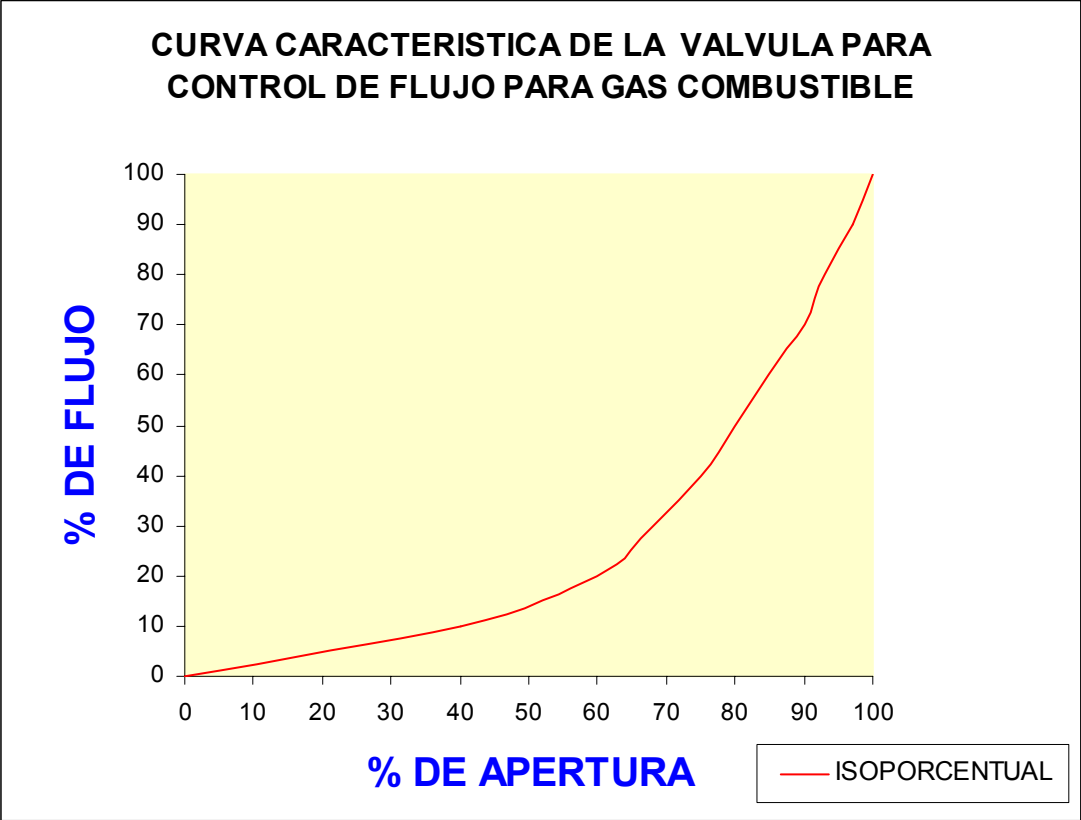
Tabla 3 .Toma de datos 1

Q (LITROS/MIN)	ANGULO DE APERTURA DE LA VÁLVULA Θ (GRADOS)
0	0
8.4	10
11.5	20
13.6	30
15.5	40
16.8	50
18.9	60
19.5	70
20.3	80
21	90

Tabla 4. Toma de datos 2

PORCENTAJE DE CAUDAL % Q	PORCENTAJE DE APERTURA %Θ
0	0
40	10
54	20
64	30
73	40
80	50
85	60
90	70
93	80
96	90
100	100

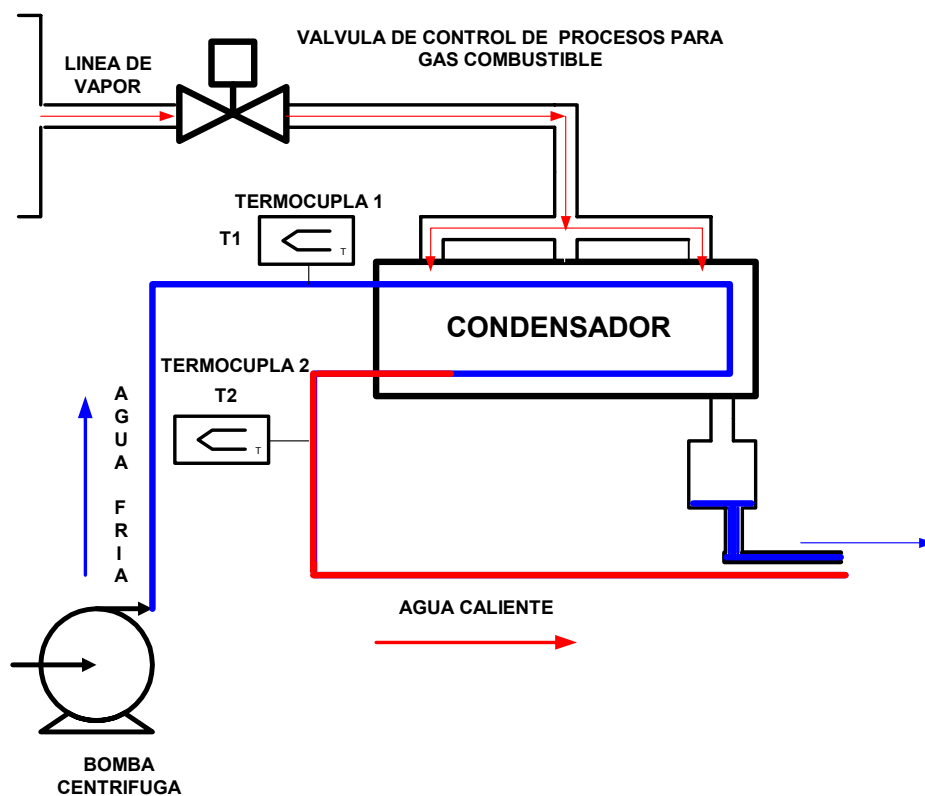
Figura 30. Curva característica de la válvula



7. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO

Para la prueba de funcionamiento del actuador electrónico se utilizó el intercambiador de calor, del laboratorio de plantas térmicas cuyo fluido de trabajo es vapor proveniente de la caldera del mismo y cuyas propiedades termodinámicas son respectivamente 20 Psi y 130 °C; proveniente de un tanque e impulsada por una bomba centrífuga hacia el intercambiador de calor como lo muestra la figura N° 31.

Figura 31. Esquema prueba de funcionamiento

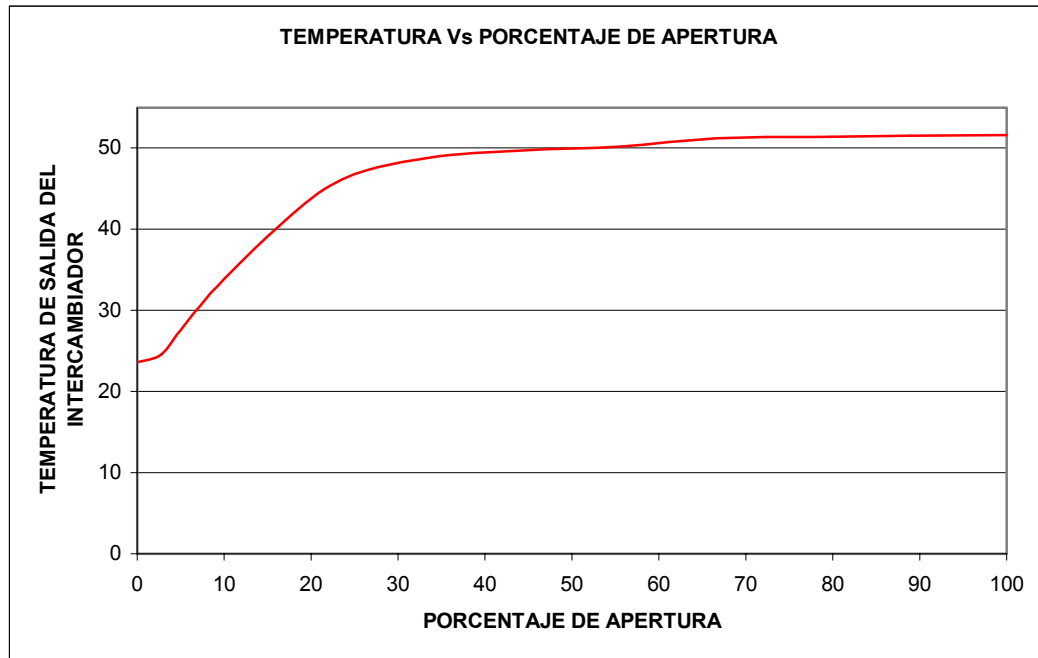


El control de este proceso se establece en un rango comprendido entre 24°C y 50° C debido a las condiciones del vapor; utilizando para ello un controlador PID ajustado al proceso mediante un software cuyo algoritmo se hizo en Delfhi por su facilidad y funcionalidad, además de su fácil comunicación con el Field Point.

La temperatura de entrada y salida del agua del intercambiador son medidas mediante dos termocuplas tipo J, y su señal es enviada al modulo de termocuplas FP-TC- 120 del FIELD POINT, así mismo el actuador de la válvula utiliza el modulo FP-AO-200 del FIEL POINT para enviar y recibir las señales análogo digitales del controlador. (0-10 V y 0- 20 mA respectivamente).

El comportamiento del sistema es mostrado en la siguiente grafica *Temperatura de salida del intercambiador Vs Porcentaje de apertura de la válvula*; como es de esperarse un aumento de la apertura de la válvula en la línea de vapor aumentara la temperatura de salida del agua en el intercambiador de calor obedeciendo a un sencillo balance energético de los dos fluidos.

Figura 32. Temperatura de salida del intercambiador Vs porcentaje de apertura de la válvula.

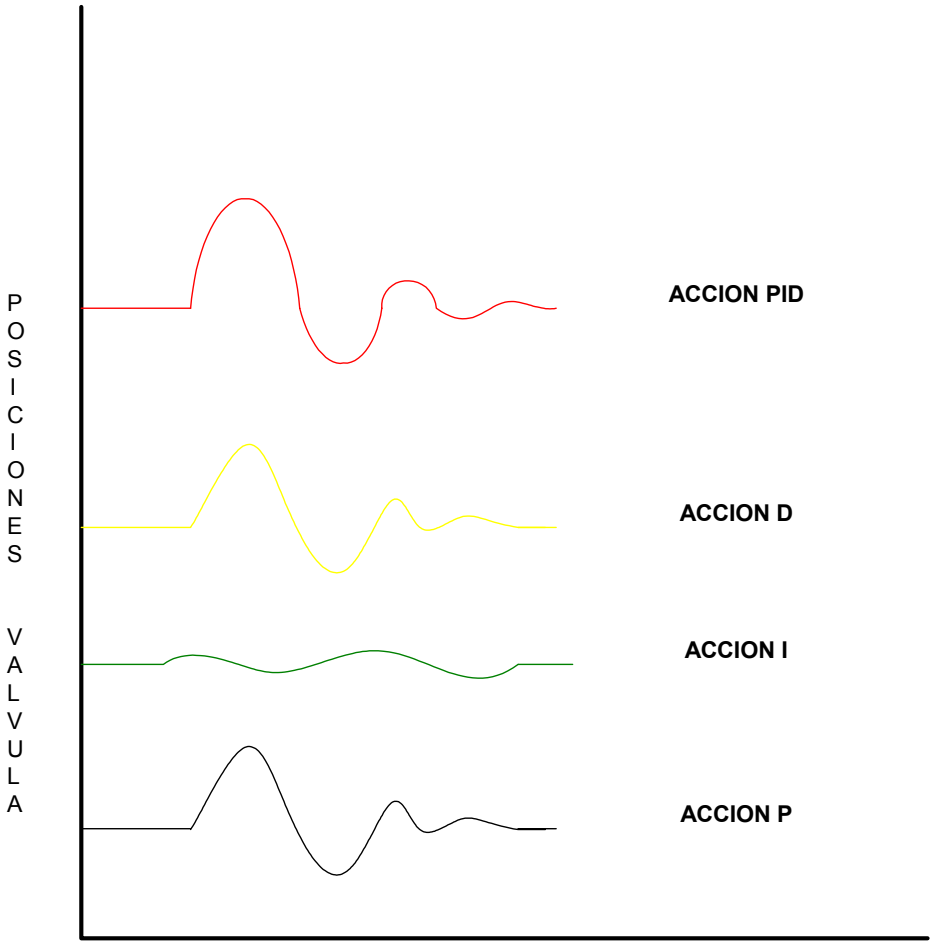


Para cualquier valor comprendido entre los rangos de trabajo, la válvula se posicionara de acuerdo a la referencia dada al sistema, las constantes en tiempos que van desde apertura máxima a cierre total o viceversa hasta de 1 minuto

El comportamiento del PID es mostrado en la figura 24, las constantes proporcional, integral y derivativa se encontraron a prueba y error con el objetivo de atenuar al máximo la oscilación del sistema:

$$\begin{aligned}K_p &= 0.00005 \\K_i &= 0.004 \\K_d &= 0.2\end{aligned}$$

Figura 33. Comportamiento del PID



8. APLICACIONES DE LA VÁLVULA DE CONTROL

Existen numerosas aplicaciones en donde podemos utilizar actuadores como elementos fundamentales para controlar un proceso, tal como en la generación de vapor y en la regulación de combustión y de nivel en una calderada vapor así como también en la regulación de la temperatura de un fluido en un intercambiador de calor.

8.1 CALDERAS DE VAPOR

Las calderas de vapor se utilizan en la mayoría de industrias debido a que muchos procesos emplean grandes cantidades de vapor.

A la caldera se le exige, pues, mantener una presión de trabajo constante para la gran diversidad de caudales de consumo, por lo cual debe ser capaz de aportar una energía calórica suficiente en la combustión del fuel-oil o del gas con aire, desde el punto de vista de seguridad, el nivel debe estar controlado y mantenido dentro de unos límites y es necesario garantizar una llama segura en la combustión; es allí donde un buen sistema de control y el uso de este tipo de válvulas garantizaran una buena puesta en marcha en la operación y en el paro de la caldera logrando así una alta rentabilidad al ahorrar combustible y por supuesto ganancia en seguridad.

8.2 CONTROL DE COMBUSTION

La regulación de la combustión se basa en mantener constante la presión de vapor en la caldera, tomándose sus variaciones como una medida de la diferencia entre el calor tomado de la caldera como vapor y el calor suministrado. El controlador de la presión de vapor ajusta la válvula de control de combustible (gas o Acpm). La señal procedente del caudal de aire es modificada por un rele de relación para ajustar la relación entre el aire y el combustible, y pasa a un controlador que la compara con la señal de caudal de combustible. Si la proporción no es correcta, se emite una señal al servomotor de mando del ventilador o a la *válvula de bola*, de modo que el caudal de aire es ajustado hasta que la relación combustible aire sea correcta.

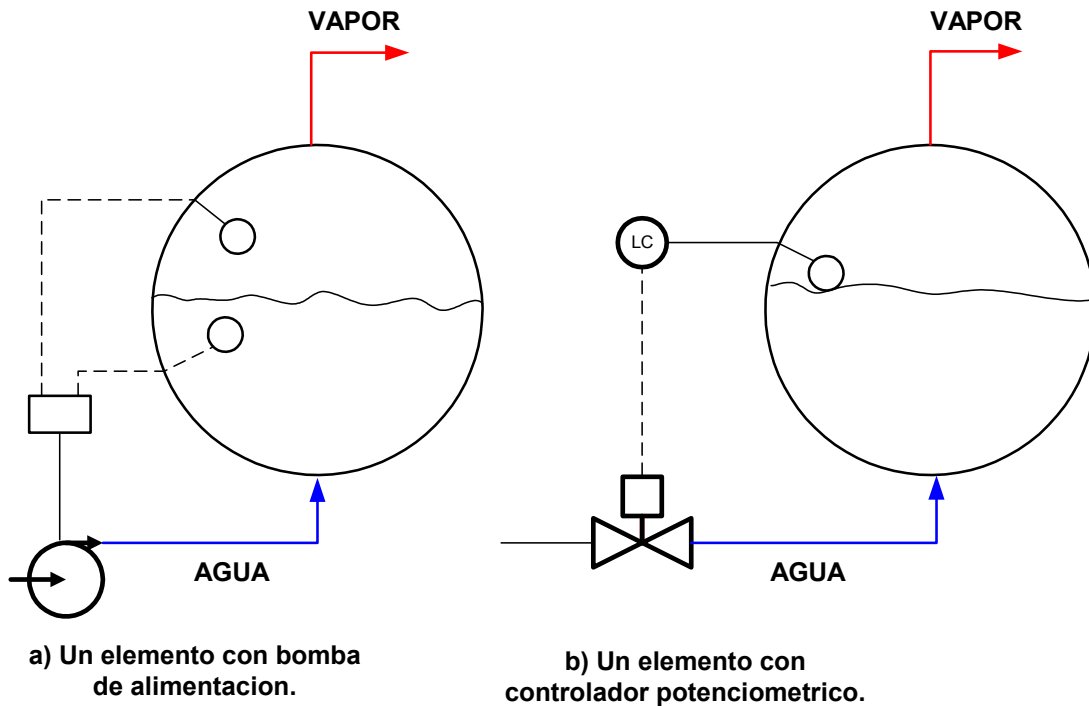
8.3 CONTROL DE NIVEL

La regulación del agua de alimentación que establece el nivel de la caldera puede realizarse de acuerdo con la capacidad de producción de la caldera. En la regulación de nivel el único instrumento utilizado es el controlador de nivel que actúa sobre la *válvula* de agua. El instrumento medidor de nivel puede ser del tipo desplazamiento o de presión diferencial de diafragma.

En calderas de pequeña capacidad (1000kg/h) la regulación puede ser toda - nada figura 34

En calderas de capacidad media, del orden de 2000-4000 Kg/h, puede un controlador de flotador con un reóstato acoplado eléctricamente a una válvula motorizada eléctrica.

Figura 34. Control de nivel.



8.4 INTERCAMBIADORES DE CALOR

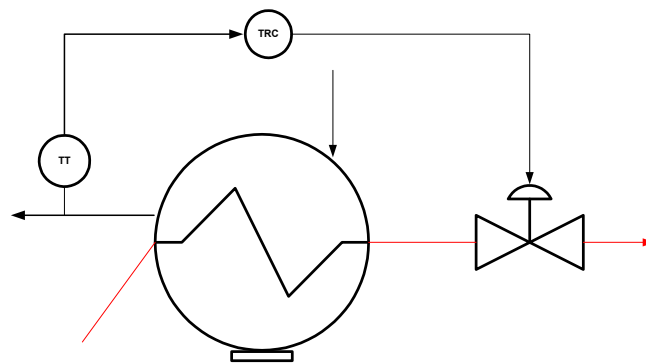
La gran mayoría de procesos industriales emplean intercambiadores de calor bien sea para precalentar, esterilizar, refrigerar entre otras. Existen varios sistemas para el control de los intercambiadores de calor debido a que son muchos los factores que deben considerarse:

La presión del vapor o del fluido de alimentación, las fluctuaciones en el caudal del producto, las variaciones en la temperatura del producto, en su calor específico, los retardos del proceso etc.

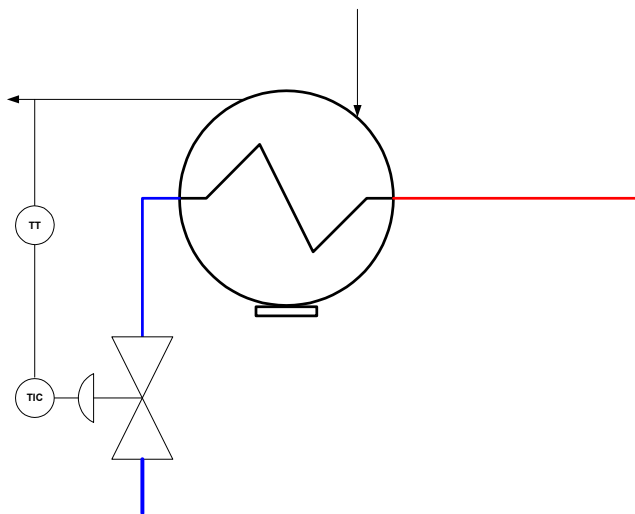
En la figura 35 puede verse un esquema de control simple con un controlador de temperatura que actúa directamente sobre la válvula de vapor.

En otro sistema se regula la extracción del condensado, es decir, indirectamente el nivel del condensado en el serpentín de vapor, mediante un controlador de temperatura del producto que manda una válvula de control en la línea de salida del condensado

Figura 35. Intercambiador de calor



a) Control de temperatura en la línea de vapor



b) Control de temperatura en la línea de condensado

CONCLUSIONES

Se cumplieron los objetivos trazados en el plan de trabajo al diseñar, construir y caracterizar una válvula de control de proceso para gas combustible

Se logro construir un actuador que puede ser colocado fácilmente dentro de un bucle de regulación y responder adecuadamente de acuerdo a un programa de control preestablecido o su respectivo controlador.

Las características de uniformidad en el porcentaje de flujo hacen que el uso de actuadores en válvulas de bola sea una buena alternativa para controlar caudal.

Aunque el rango de temperatura de control del agua fue bastante reducido por las características termodinámicas de el vapor proveniente de la caldera, creemos que funcionara satisfactoriamente para temperaturas de referencia mayores con una aproximación de mas o menos 0.5°C

La integración de un proceso físico, controlado mediante sistemas electrónicos y manejados o asistidos por medio de software es la base de la

mecatrónica, moderna disciplina que debe formar parte en el perfil de la nueva generación de Ingenieros Mecánicos

Pretender optimizar procesos industriales, a través del control automático, es una ardua labor que demanda combinar conocimientos especializados tanto del área de la ingeniería mecánica, electrónica y de sistemas. Antes de implantar algoritmos de control es primordial un perfecto funcionamiento de los equipos y elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos ya que sin que se cumpla esta condición ninguna alternativa lógica dará los resultados deseados.

RECOMENDACIONES

MANTENIMIENTO:

Esta unidad cuenta con características de fácil mantenimiento, esta comprendida básicamente de tres módulos:

Cuerpo de la válvula: es una válvula de bola en acero inoxidable de $\frac{3}{4}$ " fácilmente desmontable, con 4 tornillos que permiten desarmar completamente la válvula para cambiar cualquiera de sus elementos constitutivos y generalmente para realizar una limpieza detallada de la válvula

Soporte del actuador: es una estructura en forma de trapecio hecha de lámina de acero y no requiere mantenimiento alguno el cual acopla el cuerpo de la válvula y el actuador.

Actuador: este conjunto esta conformado por la transmisión de engranajes rectos tornillo sin fin- corona, rodamientos, motor y componentes electrónicos cuyo mantenimiento se reduce a una lubricación en el caso de los sistemas de transmisión y limpieza en el caso de los componentes electrónicos.

BIBLIOGRAFÍA

CREUS, Sole A. Instrumentaciòn industrial. Barcelona .México. Alfa Omega. Grupo editor 2003.

LEWIS Paul y YANG Chang. Sistemas de control en ingeniería. España. Prentice Hall. 1995.

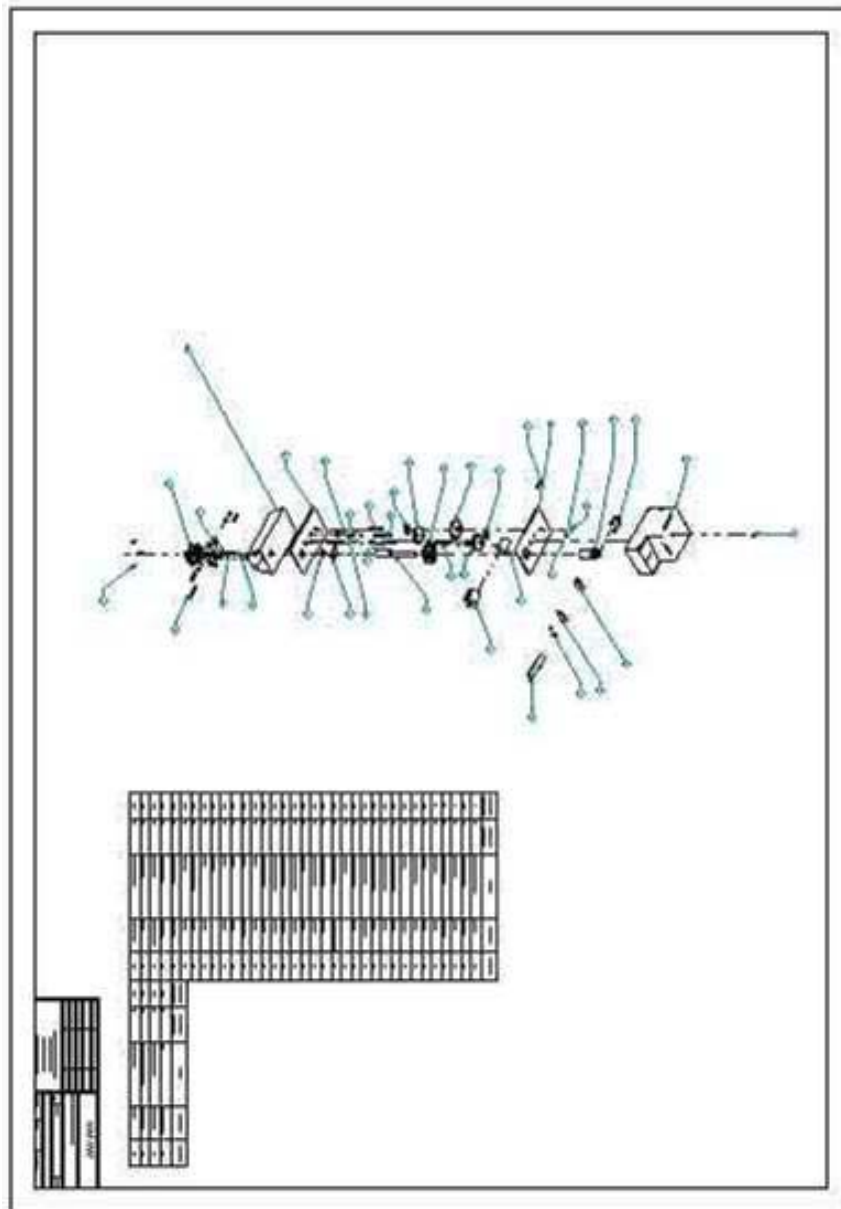
MORENO S Jorge, ARIZAV. Elías. Mejoramiento operativo de la caldera de plantas térmicas. Universidad Industrial de Santander.

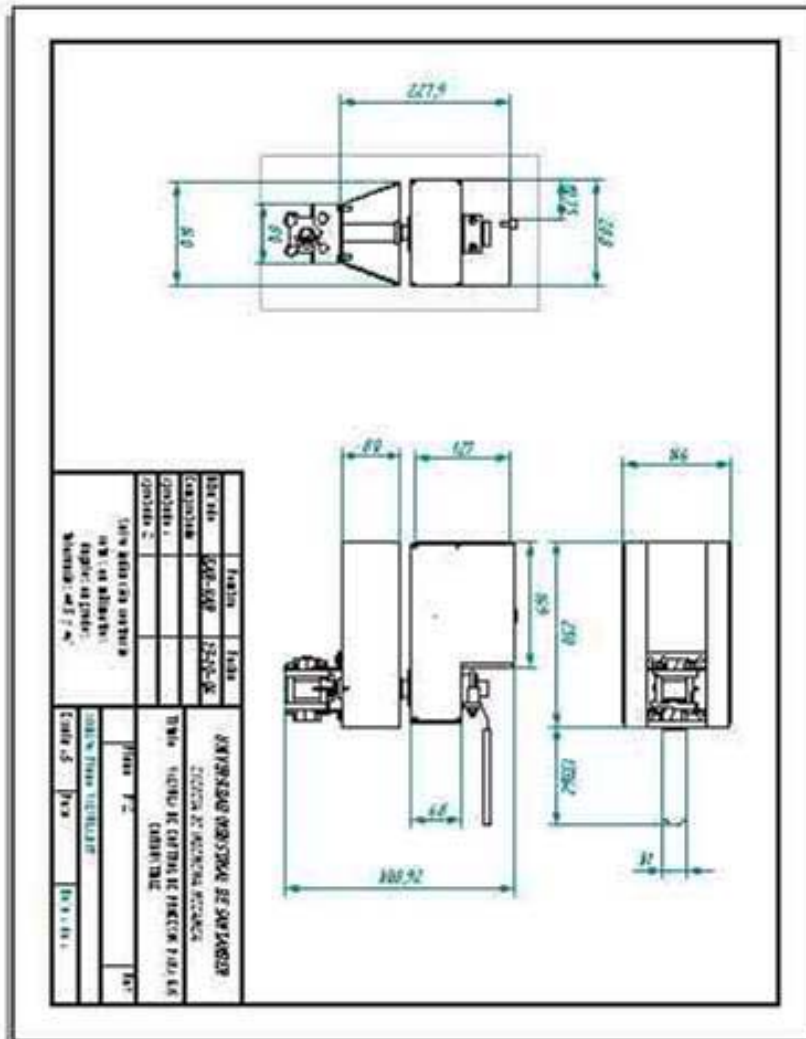
ROJAS G. Hernán. Diseño de maquinas 2. Universidad Industrial de Santander 1992.

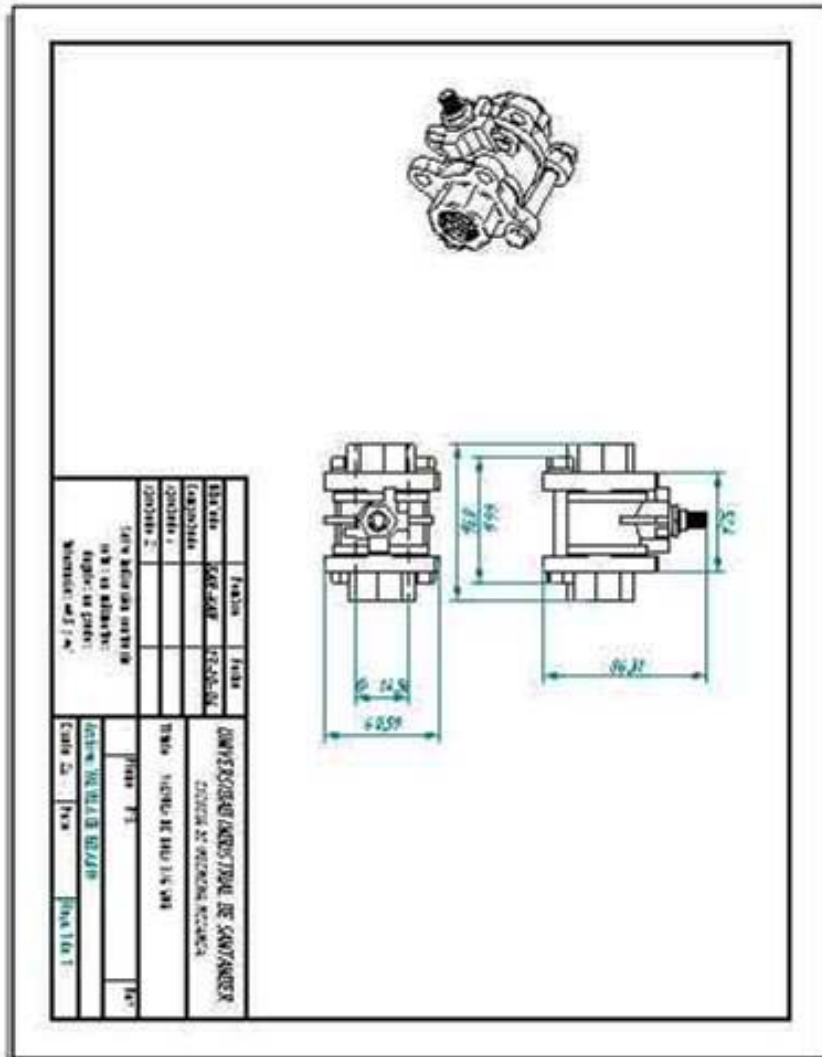
BAUMEISTER III. Theodore, AVALLONE A. Eugene. Manual del Ingeniero Mecánico. Mexico. Mc Graw Hill 1986

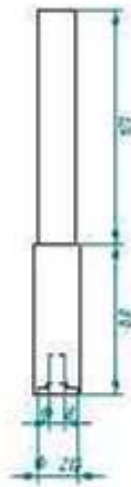
CORNELL, Gary. Manual de Borland Delphi 3.0 para Windows. Madrid: Mc. Graw Hill. 1.995. 650 p.

ANEXO A PLANOS



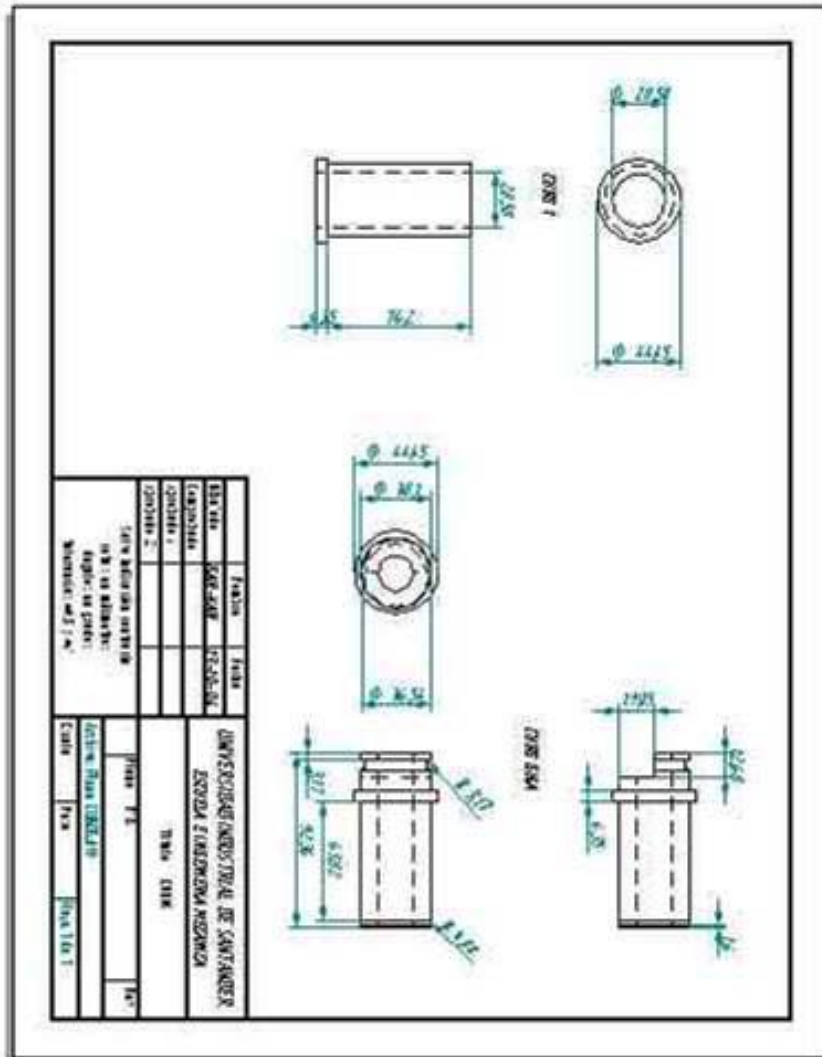


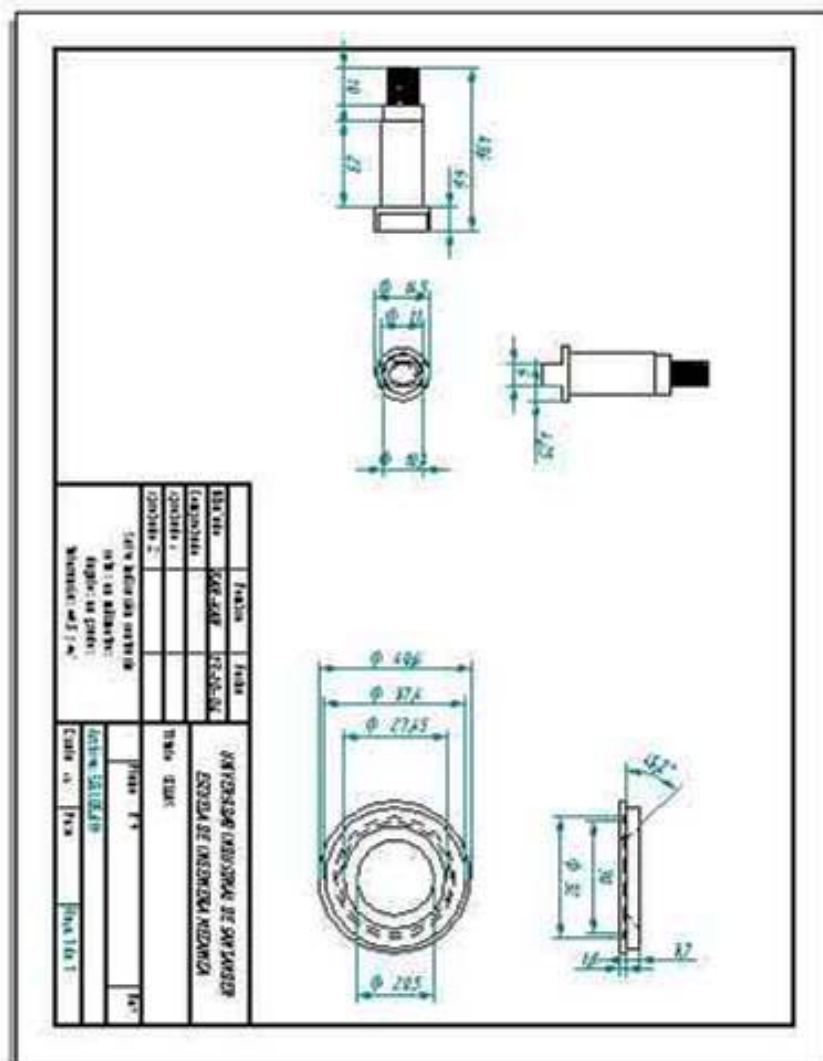


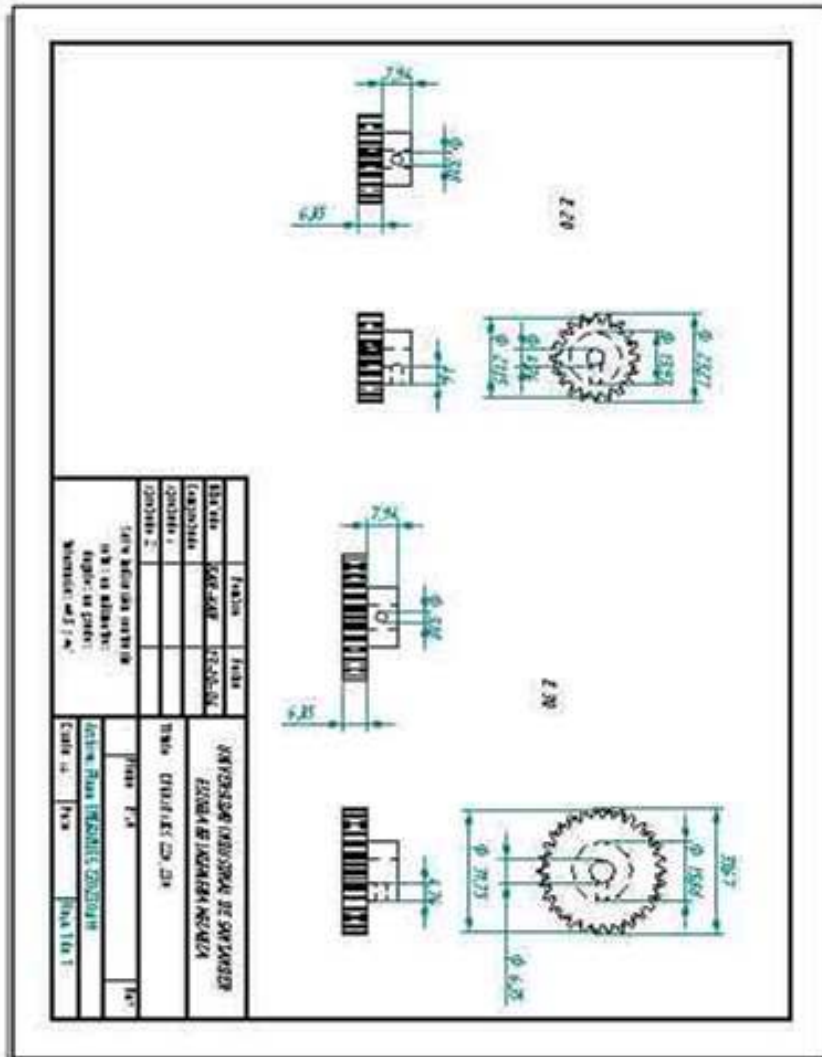


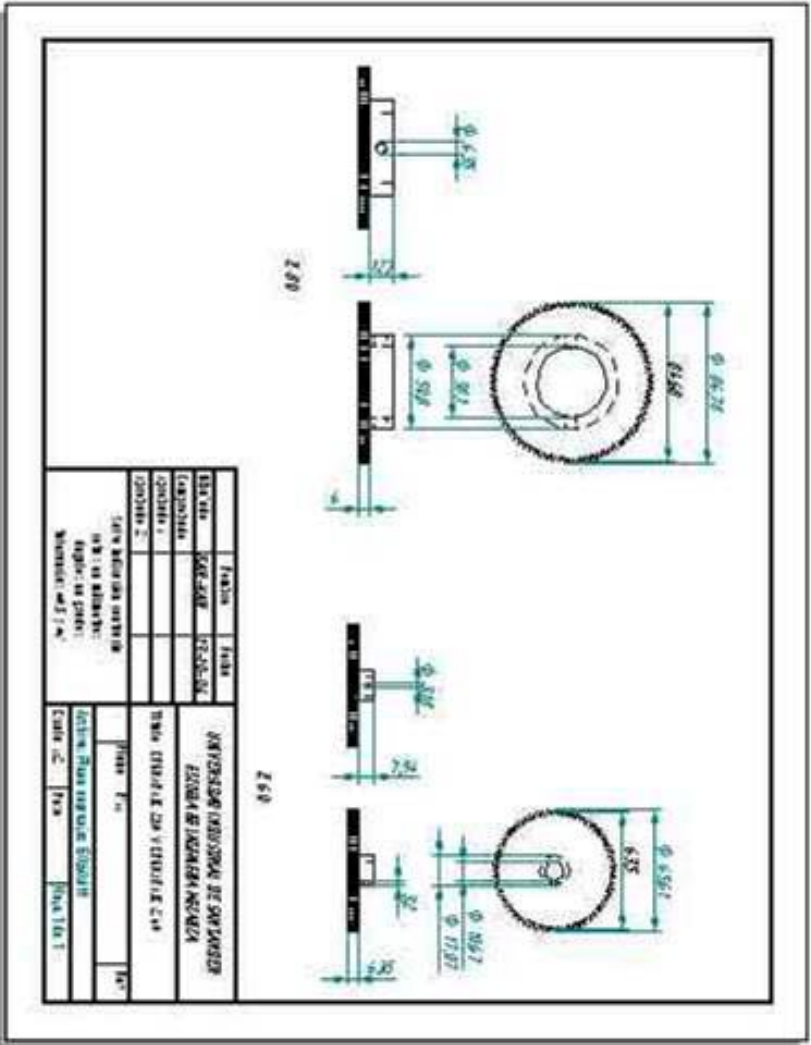
UNIVERSIDAD COLOMBIANA DE SAN PABLO		Folio 1	
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		Pagina 1	
ESTADO	CONSTRUCCION	FECHA	2023/03/10
PROYECTO	CONSTRUCCION	PROYECTO	CONSTRUCCION
DATOS DE LA OBRA NOMBRE: CONSTRUCCION DE LA OBRA DISEÑO: CONSTRUCCION MATERIAL: CONSTRUCCION			

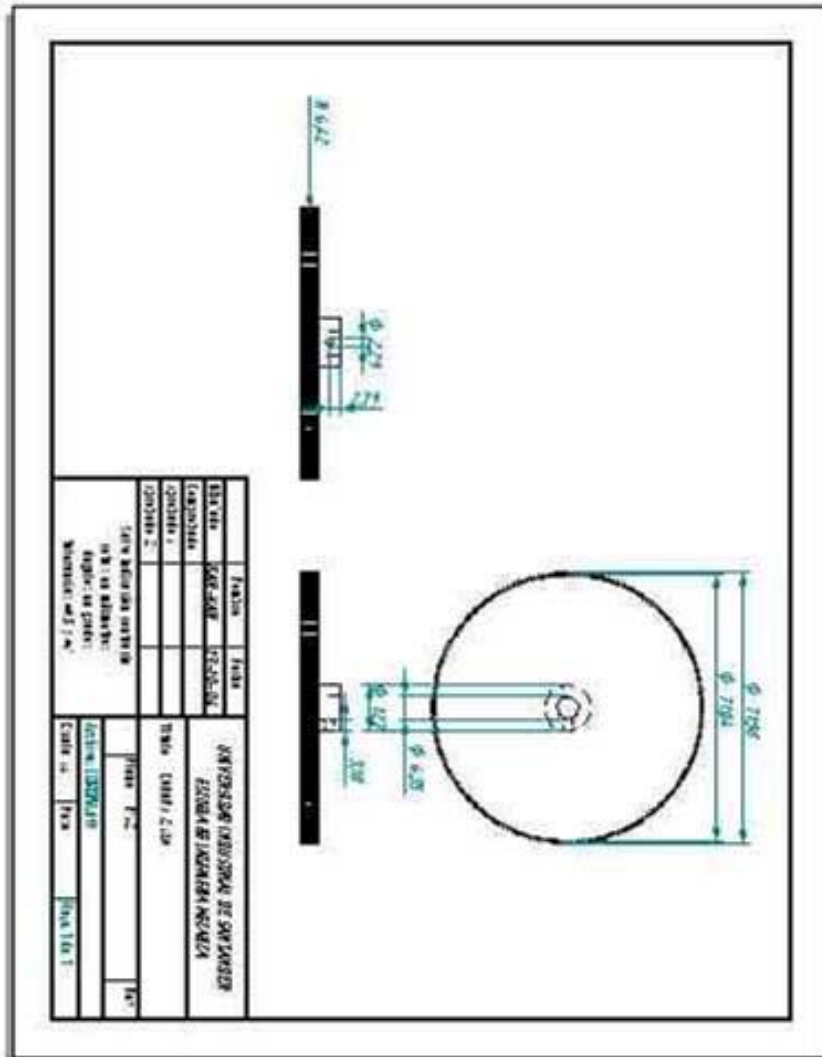


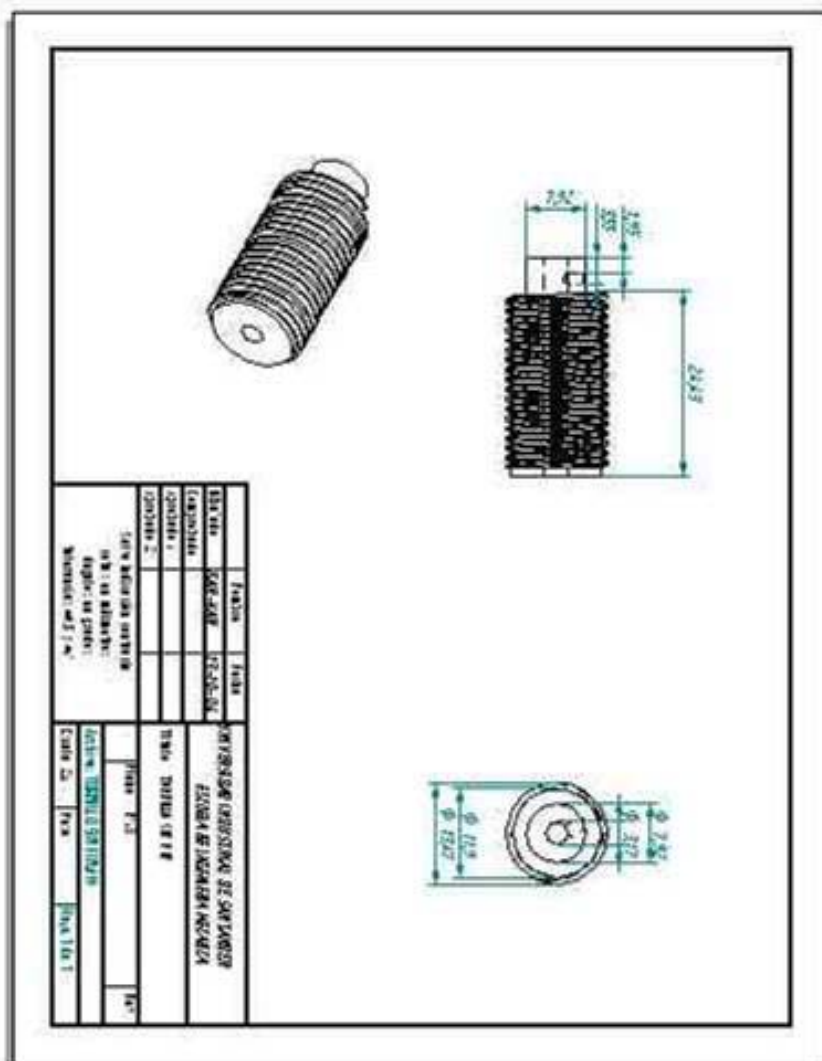


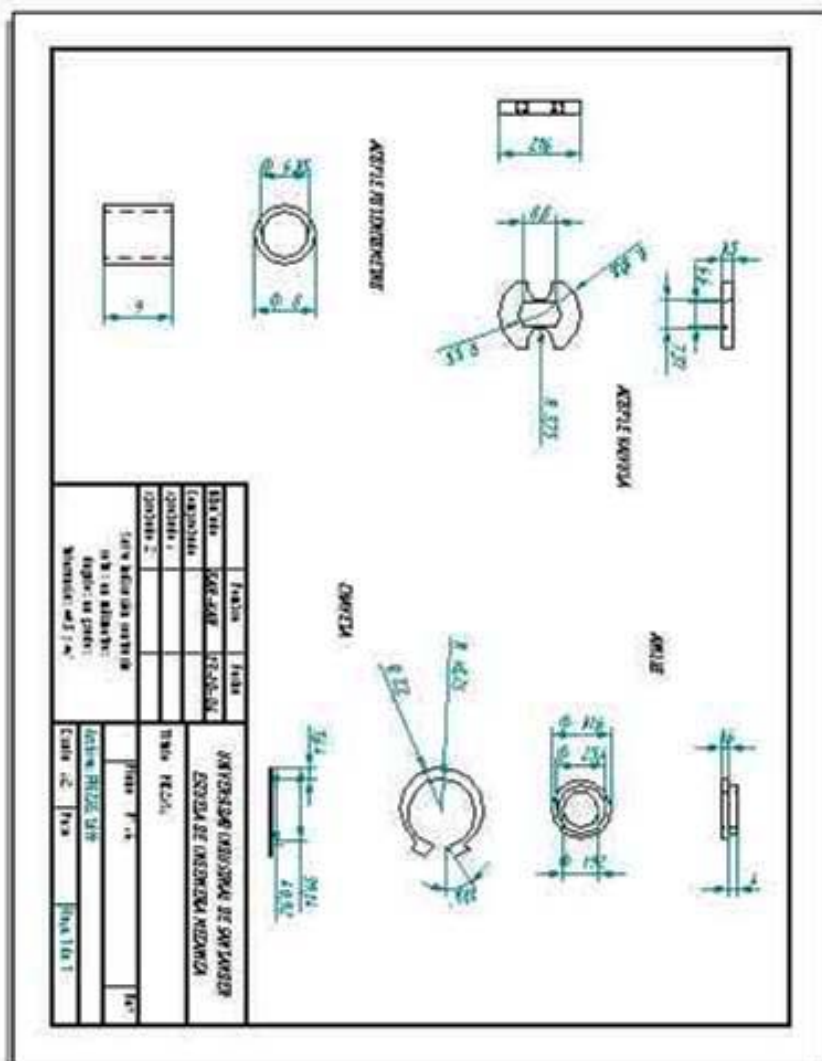


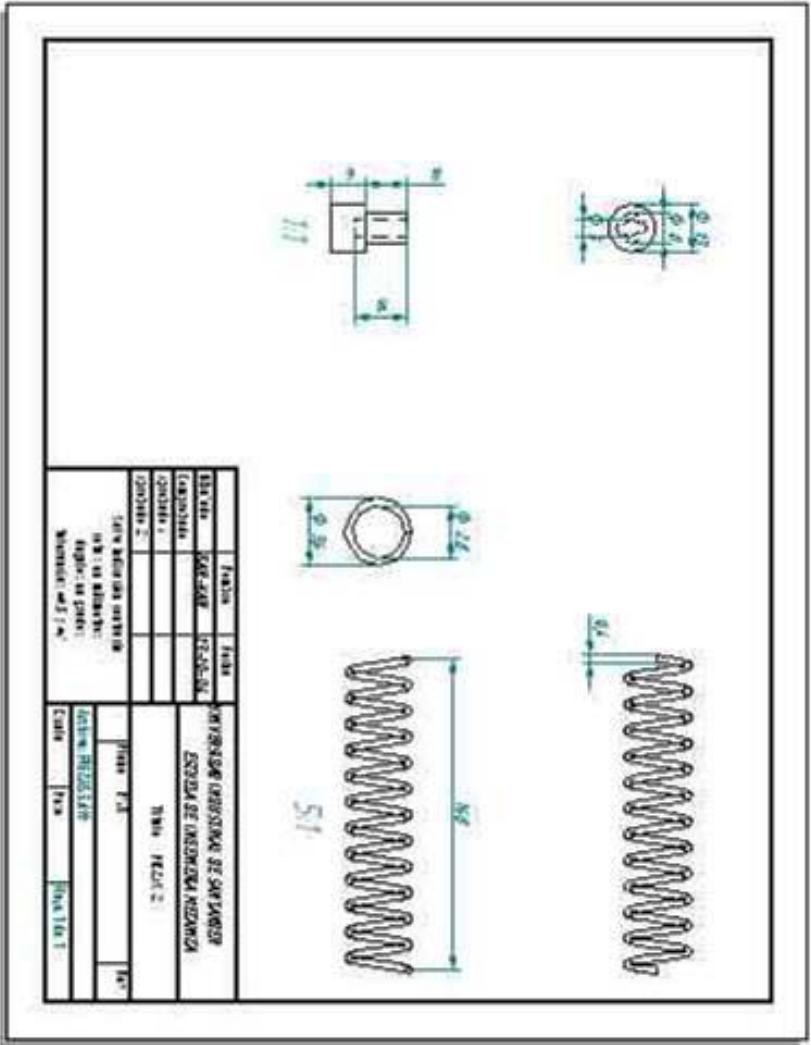












ANEXO B CATALOGO DE ENGRANAJES

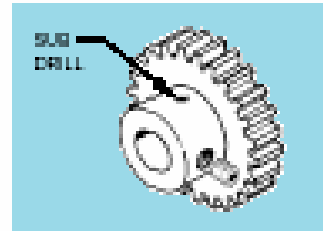
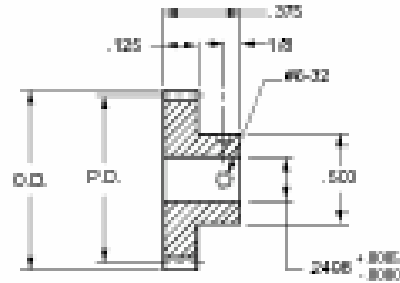
1/8" INCH**Spur Gears - 24 Pitch**

■ AGMA Q10

■ 20° PRESSURE ANGLE

■ 1/8" FACE

■ 1/4" BORE

**S** Precision Components

Catalog Number		No. of Teeth	P.D.	O.D.
303 Stainless Steel	2024 Aluminum [*] Anodized			
S1066Z-0245012	S1866Z-024.A012	12	0.5000	0.583
S1066Z-0245015	S1866Z-024.A015	15	0.6250	0.708
S1066Z-0245016	S1866Z-024.A016	16	0.6667	0.750
S1066Z-0245018	S1866Z-024.A018	18	0.7500	0.833
S1066Z-0245020	S1866Z-024.A020	20	0.8333	0.917
S1066Z-0245021	S1866Z-024.A021	21	0.8750	0.958
S1066Z-0245022	S1866Z-024.A022	22	0.9167	1.000
S1066Z-0245024	S1866Z-024.A024	24	1.0000	1.083
S1066Z-0245027	S1866Z-024.A027	27	1.1250	1.208
S1066Z-0245030	S1866Z-024.A030	30	1.2500	1.333
S1066Z-0245033	S1866Z-024.A033	33	1.3750	1.458
S1066Z-0245036	S1866Z-024.A036	36	1.5000	1.583
S1066Z-0245038	S1866Z-024.A038	38	1.6250	1.708
S1066Z-0245042	S1866Z-024.A042	42	1.7500	1.833
S1066Z-0245045	S1866Z-024.A045	45	1.8750	1.958
S1066Z-0245048	S1866Z-024.A048	48	2.0000	2.083
S1066Z-0245054	S1866Z-024.A054	54	2.2500	2.333
S1066Z-0245060	S1866Z-024.A060	60	2.5000	2.583
S1066Z-0245066	S1866Z-024.A066	66	2.7500	2.833
S1066Z-0245069	S1866Z-024.A069	69	2.8750	2.958
S1066Z-0245072	S1866Z-024.A072	72	3.0000	3.083
S1066Z-0245075	S1866Z-024.A075	75	3.1250	3.208
S1066Z-0245078	S1866Z-024.A078	78	3.2500	3.333
S1066Z-0245081	S1866Z-024.A081	81	3.3750	3.458
S1066Z-0245084	S1866Z-024.A084	84	3.5000	3.583
S1066Z-0245087	S1866Z-024.A087	87	3.6250	3.708
S1066Z-0245090	S1866Z-024.A090	90	3.7500	3.833
S1066Z-0245093	S1866Z-024.A093	93	3.8750	3.958
S1066Z-0245096	S1866Z-024.A096	96	4.0000	4.083
S1066Z-0245099	S1866Z-024.A099	99	4.1250	4.208

^{*} T4 or T351 Aluminum Alloy; anodized before cutting.

Available on special order: 14-15° P.A., teeth not listed, different bore size and/or material, passivation for stainless steel.

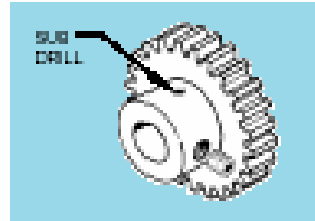
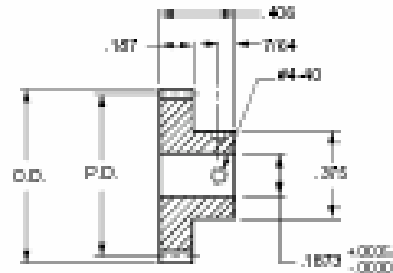
1 INCH**Spur Gears - 24 Pitch**

■ AGMA Q10

■ 20° PRESSURE ANGLE

■ 3/16 FACE

■ 3/16 BORE



Fraction Component

Catalog Number		No. of Teeth	P.D.	O. D.
303 Stainless Steel	3024 Aluminum [*] Anodized			
S1084 Z-024S H10	S1084Z-024A010	10	0.4167	0.500
S1084 Z-024S H12	S1084Z-024A012	12	0.5000	0.583
S1084 Z-024S H14	S1084Z-024A014	14	0.5833	0.667
S1084 Z-024S H15	S1084Z-024A015	15	0.6250	0.708
S1084 Z-024S H16	S1084Z-024A016	16	0.6667	0.750
S1084 Z-024S H18	S1084Z-024A018	18	0.7500	0.833
S1084 Z-024S H20	S1084Z-024A020	20	0.8333	0.917
S1084 Z-024S H21	S1084Z-024A021	21	0.8750	0.958
S1084 Z-024S H22	S1084Z-024A022	22	0.9167	1.000
S1084 Z-024S H24	S1084Z-024A024	24	1.0000	1.083
S1084 Z-024S H26	S1084Z-024A026	26	1.1667	1.250
S1084 Z-024S H30	S1084Z-024A030	30	1.2500	1.333
S1084 Z-024S H32	S1084Z-024A032	32	1.3333	1.417
S1084 Z-024S H36	S1084Z-024A036	36	1.5000	1.583
S1084 Z-024S H42	S1084Z-024A042	42	1.7500	1.833
S1084 Z-024S H44	S1084Z-024A044	44	1.8333	1.917
S1084 Z-024S H48	S1084Z-024A048	48	2.0000	2.083
S1084 Z-024S H50	S1084Z-024A050	50	2.0833	2.167
S1084 Z-024S H54	S1084Z-024A054	54	2.2500	2.333
S1084 Z-024S H56	S1084Z-024A056	56	2.3333	2.417
S1084 Z-024S H60	S1084Z-024A060	60	2.5000	2.583
S1084 Z-024S H64	S1084Z-024A064	64	2.6667	2.750
S1084 Z-024S H68	S1084Z-024A068	68	2.8333	2.917
S1084 Z-024S H72	S1084Z-024A072	72	3.0000	3.083
S1084 Z-024S H76	S1084Z-024A076	76	3.2500	3.333
S1084 Z-024S H80	S1084Z-024A080	80	3.3333	3.417
S1084 Z-024S H84	S1084Z-024A084	84	3.5000	3.583
S1084 Z-024S H90	S1084Z-024A090	90	3.7500	3.833
S1084 Z-024S H96	S1084Z-024A096	96	4.0000	4.083
S1084 Z-024S H98	S1084Z-024A098	98	4.0833	4.167

^{*} T4 or T351 Aluminum Alloy; anodized before cutting.

Available on special order: 14-16° P.A., teeth not listed, different bore size and/or material, passivation for stainless steel.

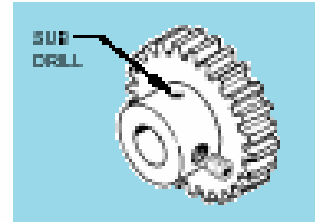
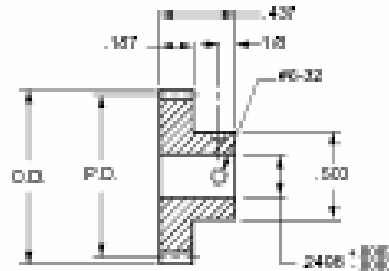
1/2 INCH**Spur Gears - 24 Pitch**

■ AGMA Q10

■ 20° PRESSURE ANGLE

■ 3/16 FACE

■ 1/4 BORE

**Precision Components**

Catalog Number		No. of Teeth	P.D.	O.D.
303 Stainless Steel	2024 Aluminum ¹ Anodized			
S1895Z-024S012	S1895Z-024A012	12	0.5000	0.583
S1895Z-024S015	S1895Z-024A015	15	0.6250	0.708
S1895Z-024S016	S1895Z-024A016	16	0.6667	0.750
S1895Z-024S018	S1895Z-024A018	18	0.7500	0.833
S1895Z-024S020	S1895Z-024A020	20	0.8333	0.917
S1895Z-024S021	S1895Z-024A021	21	0.8750	0.958
S1895Z-024S022	S1895Z-024A022	22	0.9167	1.000
S1895Z-024S024	S1895Z-024A024	24	1.0000	1.083
S1895Z-024S027	S1895Z-024A027	27	1.1250	1.208
S1895Z-024S030	S1895Z-024A030	30	1.2500	1.333
S1895Z-024S033	S1895Z-024A033	33	1.3750	1.458
S1895Z-024S036	S1895Z-024A036	36	1.5000	1.583
S1895Z-024S039	S1895Z-024A039	39	1.6250	1.708
S1895Z-024S042	S1895Z-024A042	42	1.7500	1.833
S1895Z-024S045	S1895Z-024A045	45	1.8750	1.958
S1895Z-024S048	S1895Z-024A048	48	2.0000	2.083
S1895Z-024S054	S1895Z-024A054	54	2.2500	2.333
S1895Z-024S060	S1895Z-024A060	60	2.5000	2.583
S1895Z-024S066	S1895Z-024A066	66	2.7500	2.833
S1895Z-024S069	S1895Z-024A069	69	2.8750	2.958
S1895Z-024S072	S1895Z-024A072	72	3.0000	3.083
S1895Z-024S075	S1895Z-024A075	75	3.1250	3.208
S1895Z-024S078	S1895Z-024A078	78	3.2500	3.333
S1895Z-024S081	S1895Z-024A081	81	3.3750	3.458
S1895Z-024S084	S1895Z-024A084	84	3.5000	3.583
S1895Z-024S087	S1895Z-024A087	87	3.6250	3.708
S1895Z-024S090	S1895Z-024A090	90	3.7500	3.833
S1895Z-024S093	S1895Z-024A093	93	3.8750	3.958
S1895Z-024S096	S1895Z-024A096	96	4.0000	4.083
S1895Z-024S099	S1895Z-024A099	99	4.1250	4.208

¹ T4 or T351 Aluminum Alloy anodized before cutting.

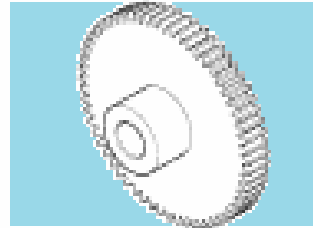
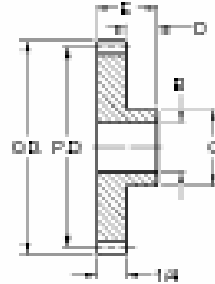
Available on special order: 14-12° P.A., teeth not listed, different bore size and/or material, passivation for stainless steel.



Spur Gears - 24 Pitch

■ 14-1/2° PRESSURE ANGLE

■ 1/4" FACE WIDTH



MATERIAL: Steel

Catalog Number	No. of Teeth	P.D.	O.D.	B Bore	E Length	C Hub Dia.	D Hub Proj.
A 1C 2-H34012	12	.500	.583			.38	
A 1C 2-H34012A	12	.500	.583	1/4	9/16	.2564	5/16
A 1C 2-H34014	14	.583	.667			.1532	
A 1C 2-H34015	15	.625	.708			.10	
A 1C 2-H34016	16	.667	.750	5/16		.3564	
A 1C 2-H34018	18	.750	.833	1/4	9/16	.58	5/16
A 1C 2-H34018A	18	.750	.833	5/16		.58	
A 1C 2-H34019	19	.792	.875	5/16	9/16	.2132	5/16
A 1C 2-H34020	20	.833	.917			.2332	
A 1C 2-H34021	21	.875	.958			.34	
A 1C 2-H34022	22	.917	1.000	3/8	9/16	.2532	5/16
A 1C 2-H34024	24	1.000	1.083				
A 1C 2-H34026	26	1.083	1.167	3/8	5/8	.78	3/8
A 1C 2-H34027	27	1.125	1.208				
A 1C 2-H34028	28	1.167	1.250	3/8	5/8	.1	3/8
A 1C 2-H34030	30	1.250	1.333				
A 1C 2-H34032	32	1.333	1.417				
A 1C 2-H34033	33	1.375	1.458				
A 1C 2-H34036	36	1.500	1.583				
A 1C 2-H34039	39	1.625	1.708				
A 1C 2-H34040	40	1.667	1.750				
A 1C 2-H34042	42	1.750	1.833				
A 1C 2-H34045	45	1.875	1.958				
A 1C 2-H34046	46	2.000	2.083				
A 1C 2-H34054	54	2.250	2.333				
A 1C 2-H34056	56	2.333	2.417				
A 1C 2-H34060	60	2.500	2.583				
A 1C 2-H34064	64	2.667	2.750				
A 1C 2-H34070	70	2.917	3.000	1/2	5/8	1-3/8	3/8
A 1C 2-H34072	72	3.000	3.083				
A 1C 2-H34084	84	3.500	3.583	1/2	3/4	1-3/8	1/2
A 1C 2-H34096	96	4.000	4.083				
A 1C 2-H34120	120	5.000	5.083	1/2	21/32	1-1/2	13/32
A 1C 2-H34144B	144	6.000	6.083		3/4	1-1/2	1/2
					7/8	.2	17/32

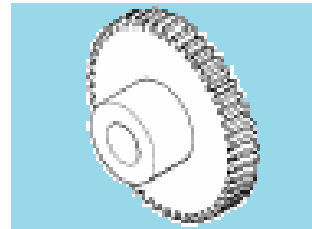
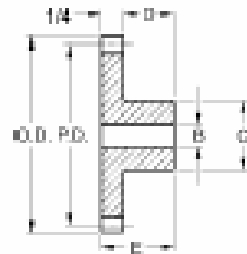
* These gears may have inserted hubs. ^A Only available with 1/4-20 set screw.



Spur Gears - 24 Pitch

■ 14-1/2° PRESSURE ANGLE

■ 1/4 FACE WIDTH



MATERIAL: Steel

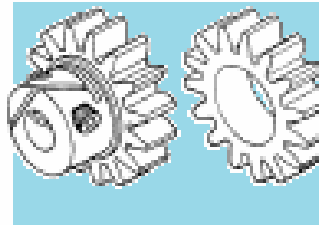
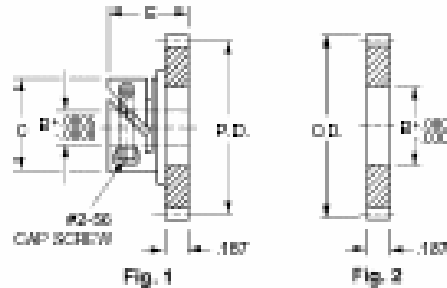
Catalog Number	No. of Tooth	P.D.	O.D.	B Bore	E Length	C Hub Dia.	D Hub Proj.
A 1B 2-H24011	11	.488	.542	1/8	1/2	11/32	1/4
A 1B 2-H24012	12	.500	.553	3/16	1/2	3/8	1/4
A 1B 2-H24014	14	.523	.567		1/2	7/16	1/4
A 1B 2-H24016	16	.567	.750	1/4	1/2	1/2	1/4
A 1B 2-H24018	18	.750	.833		1/2	1/2	1/4
A 1B 2-H24020	20	.833	.917		1/2	1/2	1/4
A 1B 2-H24021	21	.875	.958		1/2	5/8	1/4
A 1B 2-H24024	24	1.000	1.083		1/2	5/8	1/4
A 1B 2-H24027	27	1.125	1.208		1/2	5/8	1/4
A 1B 2-H24028	28	1.167	1.250		1/2	5/8	1/4
A 1B 2-H24030	30	1.250	1.333	5/16	9/16	11/16	5/16
A 1B 2-H24032	32	1.333	1.417		9/16	11/16	5/16
A 1B 2-H24036	36	1.500	1.583		9/16	11/16	5/16
A 1B 2-H24040	40	1.667	1.750		9/16	11/16	5/16
A 1B 2-H24042	42	1.750	1.833		9/16	11/16	5/16
A 1B 2-H24042A	42	1.750	1.833		9/16	11/16	5/16
A 1B 2-H24044	44	1.833	1.917		9/16	11/16	5/16
A 1B 2-H24048	48	2.000	2.083	3/8	5/8	7/8	3/8
A 1B 2-H24052	52	2.167	2.250		5/8	7/8	3/8
A 1B 2-H24054	54	2.250	2.333		5/8	7/8	3/8
A 1B 2-H24056	56	2.333	2.417	5/8	5/8	7/8	3/8
A 1B 2-H24060	60	2.500	2.583		5/8	7/8	3/8
A 1B 2-H24066	66	2.750	2.833		5/8	7/8	3/8
A 1B 2-H24072	72	3.000	3.083	3/8	5/8	7/8	3/8
A 1B 2-H24080	80	3.333	3.417	5/8	5/8	7/8	3/8
A 1B 2-H24084	84	3.500	3.583	3/4	5/8	7/8	3/8
A 1B 2-H24096A	96	4.000	4.083		5/8	7/8	3/8
A 1B 2-H24108A	108	4.500	4.583		5/8	7/8	3/8
A 1B 2-H24120A	120	5.000	5.083	3/4	5/8	7/8	3/8
A 1B 2-H24128	128	5.333	5.417	5/8	5/8	7/8	3/8
A 1B 2-H24144A	144	6.000	6.083	3/4	5/8	7/8	3/8
A 1B 2-H24156	156	6.500	6.583	5/8	5/8	7/8	3/8
A 1B 2-H24168	168	7.000	7.083	1/2	3/4	1-1/8	1/2

NOTE: Gears may be solid, webbed or spoked depending on the size.



Fairloc® Hub Acetal Spur Gears - 24 Pitch

■ AGMA Q10 ■ 20° PRESSURE ANGLE ■ 3/16 FACE ■ 3/16, 1/4 & 3/8 BORES



MATERIAL: Gear – Acetal
Hub – 303 Stainless Steel

Fig.	Bore Ref.	C	E
1	.1875	.435	.493
	.2500	.530	.493

Catalog Number			No. of Teeth	P.D.	O.D.
FAIRLOC® TYPE HUB GEAR (Fig. 1)		HUBLESS (Fig. 2)			
B = ø.1875	B = ø.2500	B = ø.3750			
S1V84Z-624DS#15	S1V85Z-024C6015	S1268Z-624D0015	15	.6250	.703
S1V84Z-624DS#16	S1V85Z-024C6016	S1268Z-624D0016	16	.6667	.750
S1V84Z-624DS#17	S1V85Z-024C6017	S1268Z-624D0017	17	.7083	.792
S1V84Z-624DS#18	S1V85Z-024C6018	S1268Z-624D0018	18	.7500	.833
S1V84Z-624DS#19	S1V85Z-024C6019	S1268Z-624D0019	19	.7917	.875
S1V84Z-624DS#20	S1V85Z-024C6020	S1268Z-624D0020	20	.8333	.917
S1V84Z-624DS#21	S1V85Z-024C6021	S1268Z-624D0021	21	.8750	.964
S1V84Z-624DS#22	S1V85Z-024C6022	S1268Z-624D0022	22	.9167	1.030
S1V84Z-624DS#23	S1V85Z-024C6023	S1268Z-624D0023	23	.9583	1.082
S1V84Z-624DS#24	S1V85Z-024C6024	S1268Z-624D0024	24	1.0000	1.083
S1V84Z-624DS#25	S1V85Z-024C6025	S1268Z-624D0025	25	1.0417	1.125
S1V84Z-624DS#26	S1V85Z-024C6026	S1268Z-624D0026	26	1.0833	1.250
S1V84Z-624DS#28	S1V85Z-024C6028	S1268Z-624D0028	28	1.1667	1.303
S1V84Z-624DS#30	S1V85Z-024C6030	S1268Z-624D0030	30	1.2500	1.417
S1V84Z-624DS#32	S1V85Z-024C6032	S1268Z-624D0032	32	1.3333	1.458
S1V84Z-624DS#33	S1V85Z-024C6033	S1268Z-624D0033	33	1.3750	1.553
S1V84Z-624DS#36	S1V85Z-024C6036	S1268Z-624D0036	36	1.5000	1.750
S1V84Z-624DS#40	S1V85Z-024C6040	S1268Z-624D0040	40	1.6667	1.833
S1V84Z-624DS#42	S1V85Z-024C6042	S1268Z-624D0042	42	1.7500	1.864
S1V84Z-624DS#45	S1V85Z-024C6045	S1268Z-624D0045	45	1.8750	2.030
S1V84Z-624DS#46	S1V85Z-024C6046	S1268Z-624D0046	46	1.9167	2.083
S1V84Z-624DS#48	S1V85Z-024C6048	S1268Z-624D0048	48	2.0000	2.167
S1V84Z-624DS#50	S1V85Z-024C6050	S1268Z-624D0050	50	2.0833	2.250
S1V84Z-624DS#52	S1V85Z-024C6052	S1268Z-624D0052	52	2.1667	2.375
S1V84Z-624DS#55	S1V85Z-024C6055	S1268Z-624D0055	55	2.2917	2.417
S1V84Z-624DS#56	S1V85Z-024C6056	S1268Z-624D0056	56	2.3333	2.458
S1V84Z-624DS#57	S1V85Z-024C6057	S1268Z-624D0057	57	2.3750	2.553
S1V84Z-624DS#60	S1V85Z-024C6060	S1268Z-624D0060	60	2.5000	2.750
S1V84Z-624DS#64	S1V85Z-024C6064	S1268Z-624D0064	64	2.6667	2.833
S1V84Z-624DS#66	S1V85Z-024C6066	S1268Z-624D0066	66	2.7500	2.964
S1V84Z-624DS#68	S1V85Z-024C6068	S1268Z-624D0068	68	2.8333	3.083
S1V84Z-624DS#72	S1V85Z-024C6072	S1268Z-624D0072	72	3.0000	3.250
S1V84Z-624DS#75	S1V85Z-024C6075	S1268Z-624D0075	75	3.2500	3.553
S1V84Z-624DS#84	S1V85Z-024C6084	S1268Z-624D0084	84	3.5000	3.833
S1V84Z-624DS#90	S1V85Z-024C6090	S1268Z-624D0090	90	3.7500	3.964
S1V84Z-624DS#93	S1V85Z-024C6093	S1268Z-624D0093	93	3.8750	4.083

Available on special order: 14-1/2° P.A., teeth not listed or different bore size.
This product is also available with pin type hubs. See page 1-123.

1-127

1/8" INCH

Acetal Spur Gears - 24 Pitch

■ ACMA Q10 ■ 20° PRESSURE ANGLE ■ 3/16" FACE ■ 3/16, 1/4 & 3/8 BORES

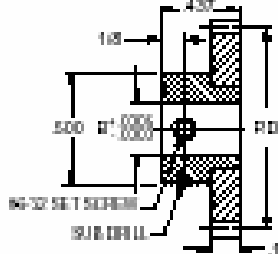


Fig. 1

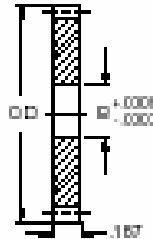
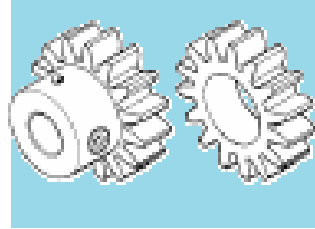


Fig. 2

MATERIAL: Gear - Acetal
Hub - 303 Stainless Steel



1/8" INCH
Precision Component

Catalog Number			No. of Teeth	P.D.	O.D.
PM TYPE HUB GEAR (Fig. 1)		HUBLESS (Fig. 2)			
B = ø.1875	B = ø.2438	B = ø.3750			
51084Z-024DS015	51084Z-024DS015	51288Z-024D015	15	.6250	.708
51084Z-024DS016	51084Z-024DS016	51288Z-024D016	16	.6667	.750
51084Z-024DS017	51084Z-024DS017	51288Z-024D017	17	.7083	.792
51084Z-024DS018	51084Z-024DS018	51288Z-024D018	18	.7500	.833
51084Z-024DS019	51084Z-024DS019	51288Z-024D019	19	.7917	.875
51084Z-024DS020	51084Z-024DS020	51288Z-024D020	20	.8333	.917
51084Z-024DS021	51084Z-024DS021	51288Z-024D021	21	.8750	.958
51084Z-024DS022	51084Z-024DS022	51288Z-024D022	22	.9167	1.000
51084Z-024DS023	51084Z-024DS023	51288Z-024D023	23	.9583	1.042
51084Z-024DS024	51084Z-024DS024	51288Z-024D024	24	1.0000	1.083
51084Z-024DS025	51084Z-024DS025	51288Z-024D025	25	1.0417	1.125
51084Z-024DS026	51084Z-024DS026	51288Z-024D026	26	1.0833	1.250
51084Z-024DS027	51084Z-024DS027	51288Z-024D027	27	1.1250	1.333
51084Z-024DS028	51084Z-024DS028	51288Z-024D028	28	1.1667	1.417
51084Z-024DS029	51084Z-024DS029	51288Z-024D029	29	1.2083	1.458
51084Z-024DS030	51084Z-024DS030	51288Z-024D030	30	1.2500	1.583
51084Z-024DS031	51084Z-024DS031	51288Z-024D031	31	1.2917	1.667
51084Z-024DS032	51084Z-024DS032	51288Z-024D032	32	1.3333	1.750
51084Z-024DS033	51084Z-024DS033	51288Z-024D033	33	1.3750	1.833
51084Z-024DS034	51084Z-024DS034	51288Z-024D034	34	1.4167	1.958
51084Z-024DS035	51084Z-024DS035	51288Z-024D035	35	1.4583	2.000
51084Z-024DS036	51084Z-024DS036	51288Z-024D036	36	1.5000	2.083
51084Z-024DS037	51084Z-024DS037	51288Z-024D037	37	1.5417	2.167
51084Z-024DS038	51084Z-024DS038	51288Z-024D038	38	1.5833	2.250
51084Z-024DS039	51084Z-024DS039	51288Z-024D039	39	1.6250	2.333
51084Z-024DS040	51084Z-024DS040	51288Z-024D040	40	1.6667	2.417
51084Z-024DS041	51084Z-024DS041	51288Z-024D041	41	1.7083	2.458
51084Z-024DS042	51084Z-024DS042	51288Z-024D042	42	1.7500	2.583
51084Z-024DS043	51084Z-024DS043	51288Z-024D043	43	1.7917	2.667
51084Z-024DS044	51084Z-024DS044	51288Z-024D044	44	1.8333	2.750
51084Z-024DS045	51084Z-024DS045	51288Z-024D045	45	1.8750	2.833
51084Z-024DS046	51084Z-024DS046	51288Z-024D046	46	1.9167	2.958
51084Z-024DS047	51084Z-024DS047	51288Z-024D047	47	1.9583	3.000
51084Z-024DS048	51084Z-024DS048	51288Z-024D048	48	2.0000	3.083
51084Z-024DS049	51084Z-024DS049	51288Z-024D049	49	2.0417	3.167
51084Z-024DS050	51084Z-024DS050	51288Z-024D050	50	2.0833	3.250
51084Z-024DS051	51084Z-024DS051	51288Z-024D051	51	2.1250	3.333
51084Z-024DS052	51084Z-024DS052	51288Z-024D052	52	2.1667	3.417
51084Z-024DS053	51084Z-024DS053	51288Z-024D053	53	2.2083	3.458
51084Z-024DS054	51084Z-024DS054	51288Z-024D054	54	2.2500	3.583
51084Z-024DS055	51084Z-024DS055	51288Z-024D055	55	2.2917	3.667
51084Z-024DS056	51084Z-024DS056	51288Z-024D056	56	2.3333	3.750
51084Z-024DS057	51084Z-024DS057	51288Z-024D057	57	2.3750	3.833
51084Z-024DS058	51084Z-024DS058	51288Z-024D058	58	2.4167	3.958
51084Z-024DS059	51084Z-024DS059	51288Z-024D059	59	2.4583	4.000
51084Z-024DS060	51084Z-024DS060	51288Z-024D060	60	2.5000	4.083
51084Z-024DS061	51084Z-024DS061	51288Z-024D061	61	2.5417	4.167
51084Z-024DS062	51084Z-024DS062	51288Z-024D062	62	2.5833	4.250
51084Z-024DS063	51084Z-024DS063	51288Z-024D063	63	2.6250	4.333
51084Z-024DS064	51084Z-024DS064	51288Z-024D064	64	2.6667	4.417
51084Z-024DS065	51084Z-024DS065	51288Z-024D065	65	2.7083	4.583
51084Z-024DS066	51084Z-024DS066	51288Z-024D066	66	2.7500	4.667
51084Z-024DS067	51084Z-024DS067	51288Z-024D067	67	2.7917	4.750
51084Z-024DS068	51084Z-024DS068	51288Z-024D068	68	2.8333	4.833
51084Z-024DS069	51084Z-024DS069	51288Z-024D069	69	2.8750	4.958
51084Z-024DS070	51084Z-024DS070	51288Z-024D070	70	2.9167	5.000
51084Z-024DS071	51084Z-024DS071	51288Z-024D071	71	2.9583	5.083
51084Z-024DS072	51084Z-024DS072	51288Z-024D072	72	3.0000	5.167
51084Z-024DS073	51084Z-024DS073	51288Z-024D073	73	3.0417	5.250
51084Z-024DS074	51084Z-024DS074	51288Z-024D074	74	3.0833	5.333
51084Z-024DS075	51084Z-024DS075	51288Z-024D075	75	3.1250	5.417
51084Z-024DS076	51084Z-024DS076	51288Z-024D076	76	3.1667	5.583
51084Z-024DS077	51084Z-024DS077	51288Z-024D077	77	3.2083	5.667
51084Z-024DS078	51084Z-024DS078	51288Z-024D078	78	3.2500	5.750
51084Z-024DS079	51084Z-024DS079	51288Z-024D079	79	3.2917	5.833
51084Z-024DS080	51084Z-024DS080	51288Z-024D080	80	3.3333	5.958
51084Z-024DS081	51084Z-024DS081	51288Z-024D081	81	3.3750	6.000
51084Z-024DS082	51084Z-024DS082	51288Z-024D082	82	3.4167	6.083
51084Z-024DS083	51084Z-024DS083	51288Z-024D083	83	3.4583	6.167
51084Z-024DS084	51084Z-024DS084	51288Z-024D084	84	3.5000	6.250
51084Z-024DS085	51084Z-024DS085	51288Z-024D085	85	3.5417	6.333
51084Z-024DS086	51084Z-024DS086	51288Z-024D086	86	3.5833	6.417
51084Z-024DS087	51084Z-024DS087	51288Z-024D087	87	3.6250	6.583
51084Z-024DS088	51084Z-024DS088	51288Z-024D088	88	3.6667	6.667
51084Z-024DS089	51084Z-024DS089	51288Z-024D089	89	3.7083	6.750
51084Z-024DS090	51084Z-024DS090	51288Z-024D090	90	3.7500	6.833
51084Z-024DS091	51084Z-024DS091	51288Z-024D091	91	3.7917	6.958
51084Z-024DS092	51084Z-024DS092	51288Z-024D092	92	3.8333	7.000
51084Z-024DS093	51084Z-024DS093	51288Z-024D093	93	3.8750	7.083
51084Z-024DS094	51084Z-024DS094	51288Z-024D094	94	3.9167	7.167
51084Z-024DS095	51084Z-024DS095	51288Z-024D095	95	3.9583	7.250
51084Z-024DS096	51084Z-024DS096	51288Z-024D096	96	4.0000	7.333
51084Z-024DS097	51084Z-024DS097	51288Z-024D097	97	4.0417	7.417
51084Z-024DS098	51084Z-024DS098	51288Z-024D098	98	4.0833	7.583
51084Z-024DS099	51084Z-024DS099	51288Z-024D099	99	4.1250	7.667
51084Z-024DS100	51084Z-024DS100	51288Z-024D100	100	4.1667	7.750

Available on special order: 14-16° P.A., teeth not listed, or different bore size.
This product is also available with Fairless® hubs. (See page 1-127.)

1-128

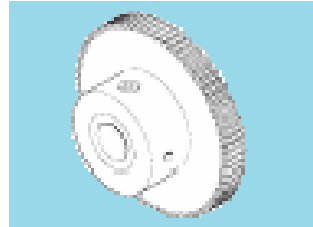
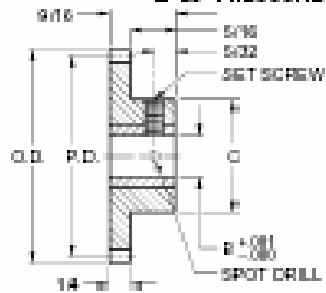


INCH

Molded Spur Gears - 24 Pitch

■ 20° PRESSURE ANGLE

■ 1/4 FACE



MATERIAL: Gear - Acetal
Insert - Brass

Catalog Number	No. of Teeth	P.D.	O.D.	B Bore	C Hub Dia.	Set Screw	Type		
A 1T 2-Y24012	12	.500	.583	3/16	3/8	#4-40	Plain		
A 1T 2-Y24014	14	.583	.667		7/16				
A 1T 2-Y24015	15	.625	.708		31/64				
A 1T 2-Y24016	16	.667	.750		3/8				
A 1T 2-Y24017	17	.708	.792						
A 1T 2-Y24018	18	.750	.833						
A 1T 2-Y24019	19	.792	.875						
A 1T 2-Y24020	20	.833	.917		1/2			#6-32	Web
A 1T 2-Y24021	21	.875	.958	1/4	3/8				
A 1T 2-Y24022	22	.917	1.000		3/8				
A 1T 2-Y24023	23	.958	1.042		3/8				
A 1T 2-Y24024	24	1.000	1.083		3/8				
A 1T 2-Y24025	25	1.042	1.125		3/8				
A 1T 2-Y24026	26	1.083	1.167		3/8				
A 1T 2-Y24027	27	1.125	1.208		3/8				
A 1T 2-Y24028	28	1.167	1.250		5/16	43/64	#6-32	Web	
A 1T 2-Y24030	30	1.250	1.333	5/8					
A 1T 2-Y24032	32	1.333	1.417						
A 1T 2-Y24033	33	1.375	1.458						
A 1T 2-Y24034	34	1.417	1.500						
A 1T 2-Y24036	36	1.500	1.583						
A 1T 2-Y24038	38	1.625	1.708						
A 1T 2-Y24040	40	1.667	1.750						
A 1T 2-Y24042	42	1.750	1.833	3/8	5/8	#6-32	Web		
A 1T 2-Y24044	44	1.833	1.917						
A 1T 2-Y24045	45	1.875	1.958						
A 1T 2-Y24046	46	2.000	2.083						
A 1T 2-Y24050	50	2.083	2.167						
A 1T 2-Y24052	52	2.167	2.250						
A 1T 2-Y24054	54	2.250	2.333						
A 1T 2-Y24056	56	2.333	2.417						
A 1T 2-Y24060	60	2.500	2.583						

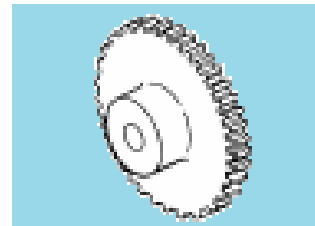
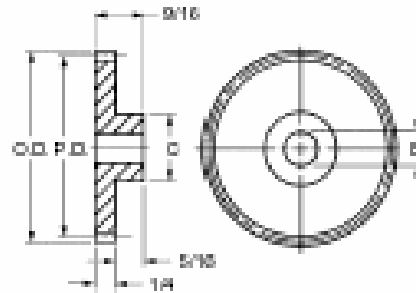


INCH

Molded Spur Gears - 24 Pitch

■ 20° PRESSURE ANGLE

■ 1/4 FACE



MATERIAL: Acetal

Catalog Number	No. of Teeth	P.D.	O.D.	B Bore	C Hub Dia.	Type	
A 1M 3-Y2M812	12	.500	.583	3/16	5/8	Plain	
A 1M 3-Y2M814	14	.583	.667		7/16		
A 1M 3-Y2M815	15	.625	.708		31/64		
A 1M 3-Y2M816	16	.667	.750				
A 1M 3-Y2M817	17	.708	.792		35/64		
A 1M 3-Y2M818	18	.750	.833				
A 1M 3-Y2M819	19	.792	.875				
A 1M 3-Y2M820	20	.833	.917				
A 1M 3-Y2M821	21	.875	.958				
A 1M 3-Y2M822	22	.917	1.000				
A 1M 3-Y2M823	23	.958	1.042				
A 1M 3-Y2M824	24	1.000	1.083	1/4	5/8	Web	
A 1M 3-Y2M825	25	1.042	1.125		35/64		
A 1M 3-Y2M826	26	1.083	1.167		5/8		
A 1M 3-Y2M827	27	1.125	1.208				
A 1M 3-Y2M828	28	1.167	1.250				
A 1M 3-Y2M830	30	1.250	1.333				
A 1M 3-Y2M832	32	1.333	1.417		35/64		
A 1M 3-Y2M833	33	1.375	1.458				
A 1M 3-Y2M834	34	1.417	1.500		5/8		
A 1M 3-Y2M835	35	1.500	1.583		5/16		43/64
A 1M 3-Y2M839	39	1.625	1.708				
A 1M 3-Y2M840	40	1.667	1.750				
A 1M 3-Y2M842	42	1.750	1.833				
A 1M 3-Y2M844	44	1.833	1.917				
A 1M 3-Y2M845	45	1.875	1.958				
A 1M 3-Y2M846	46	2.000	2.083				
A 1M 3-Y2M850	50	2.083	2.167				
A 1M 3-Y2M852	52	2.167	2.250				
A 1M 3-Y2M854	54	2.250	2.333				
A 1M 3-Y2M856	56	2.333	2.417				
A 1M 3-Y2M860	60	2.500	2.583				

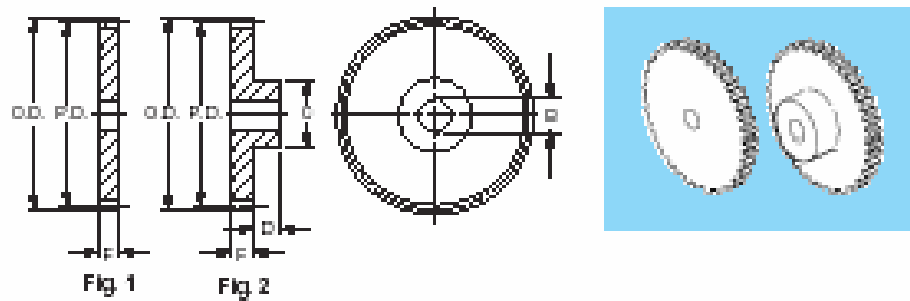
Discounts available on large quantity orders.

Gear Product Finder

Molded Spur Gears - 24 Pitch

Metric Series 24 Pitch Metric Gear 24 Pitch Imperial Series 24 Pitch Imperial Gear 24 Pitch

14-1/2° & 20° PRESSURE ANGLE



14-1/2° PRESSURE ANGLE

MATERIAL: Nylon 101

Catalog Number	Fig. No.	No. of Teeth	P.D.	O.D. Ref.	B Bore	F Face Width	C Hub Dia.	D Hub Proj.
A 1H 2-H34H12	2	12	.500	.58	1/4	5/16	3/8	1/4
A 1H 1-H34H15	1	15	.625	.71	1/4	7/32	—	—
A 1H 2-H34H18	2	18	.750	.83	1/4	1/4	1/2	3/16
A 1H 2-H34H24	2	24	1.000	1.08	1/4	5/8	3/8	3/8
A 1H 1-H34H32	1	32	1.500	1.58	1/4	3/32	—	—
A 1H 2-H34H64	2	64	3.500	3.58	3/8	5/16	27/32	1/4

* 64 tooth gear has six .563 diameter lightening holes on a 1.95 diameter circle.

20° PRESSURE ANGLE

MATERIAL: Nylon 101

Catalog Number	Fig. No.	No. of Teeth	P.D.	O.D. Ref.	B Bore	F Face Width	C Hub Dia.	D Hub Proj.
A 1H 3-Y2H121	2	21	.875	.96	1/8	1/4	1/2	.31
A 1H 3-Y2H135	2	35	1.500	1.58	3/16	3/8	.735	1/4

5 INCH

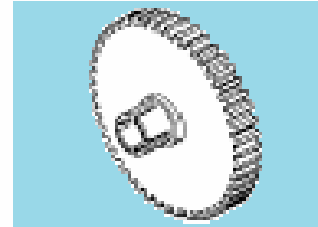
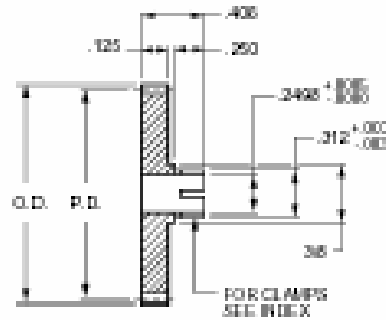
Clamp Type Spur Gears - 24 Pitch

■ AGMA Q10

■ 20° PRESSURE ANGLE

■ 1/8 FACE

■ 1/4 BORE



5 Precision Component

Catalog Number		No. of Teeth	P.D.	O.D.
303 Stainless Steel	2024 Aluminum [*] Anodized			
S1165Z-0245012	S1165Z-024A012	12	0.5000	0.583
S1165Z-0245015	S1165Z-024A015	15	0.6250	0.708
S1165Z-0245016	S1165Z-024A016	16	0.6667	0.750
S1165Z-0245018	S1165Z-024A018	18	0.7500	0.833
S1165Z-0245020	S1165Z-024A020	20	0.8333	0.917
S1165Z-0245021	S1165Z-024A021	21	0.8570	0.958
S1165Z-0245022	S1165Z-024A022	22	0.9167	1.000
S1165Z-0245024	S1165Z-024A024	24	1.0000	1.083
S1165Z-0245027	S1165Z-024A027	27	1.1250	1.208
S1165Z-0245030	S1165Z-024A030	30	1.2500	1.333
S1165Z-0245033	S1165Z-024A033	33	1.3750	1.458
S1165Z-0245036	S1165Z-024A036	36	1.5000	1.583
S1165Z-0245039	S1165Z-024A039	39	1.6250	1.708
S1165Z-0245042	S1165Z-024A042	42	1.7500	1.833
S1165Z-0245045	S1165Z-024A045	45	1.8750	1.958
S1165Z-0245048	S1165Z-024A048	48	2.0000	2.083
S1165Z-0245054	S1165Z-024A054	54	2.2500	2.333
S1165Z-0245060	S1165Z-024A060	60	2.5000	2.583
S1165Z-0245066	S1165Z-024A066	66	2.7500	2.833
S1165Z-0245069	S1165Z-024A069	69	2.8750	2.958
S1165Z-0245072	S1165Z-024A072	72	3.0000	3.083
S1165Z-0245075	S1165Z-024A075	75	3.1250	3.208
S1165Z-0245078	S1165Z-024A078	78	3.2500	3.333
S1165Z-0245081	S1165Z-024A081	81	3.3750	3.458
S1165Z-0245084	S1165Z-024A084	84	3.5000	3.583
S1165Z-0245087	S1165Z-024A087	87	3.6250	3.708
S1165Z-0245090	S1165Z-024A090	90	3.7500	3.833
S1165Z-0245093	S1165Z-024A093	93	3.8750	3.958
S1165Z-0245096	S1165Z-024A096	96	4.0000	4.083
S1165Z-0245099	S1165Z-024A099	99	4.1250	4.208

* T4 or T301 Aluminum Alloy; anodized before cutting.

Available on special order: 14-1/2° P.A., teeth not listed, different bore size and/or material, passivation for stainless steel.

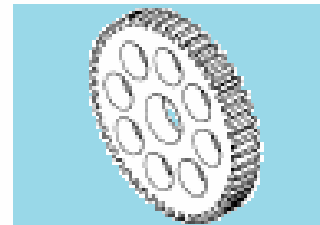
1/2" INCH**Hubless Spur Gears - 24 Pitch**

■ AGMA Q10

■ 20° PRESSURE ANGLE

■ 1/8" FACE

■ 3/8" BORE


Precision Component

Hubs are available in Pin, Clamp, or Fairloc® type.

- All gears over 2-1/8" Dia. supplied with lightning holes.
- See index for hubs. Assembled upon request at nominal charge.

Catalog Number		No. of Teeth	P.D.	O.D.
303 Stainless Steel	2024 Aluminum ¹ Anodized			
51268Z-0345015	51268Z-024A015	15	0.6250	0.708
51268Z-0345016	51268Z-024A016	16	0.6667	0.750
51268Z-0345018	51268Z-024A018	18	0.7500	0.833
51268Z-0345020	51268Z-024A020	20	0.8333	0.917
51268Z-0345021	51268Z-024A021	21	0.8750	0.958
51268Z-0345024	51268Z-024A024	24	1.0000	1.083
51268Z-0345025	51268Z-024A025	25	1.0417	1.125
51268Z-0345026	51268Z-024A026	26	1.0833	1.167
51268Z-0345028	51268Z-024A028	28	1.1667	1.250
51268Z-0345030	51268Z-024A030	30	1.2500	1.333
51268Z-0345032	51268Z-024A032	32	1.3333	1.417
51268Z-0345036	51268Z-024A036	36	1.5000	1.583
51268Z-0345040	51268Z-024A040	40	1.6667	1.750
51268Z-0345042	51268Z-024A042	42	1.7500	1.833
51268Z-0345045	51268Z-024A045	45	1.8750	1.958
51268Z-0345048	51268Z-024A048	48	2.0000	2.083
51268Z-0345050	51268Z-024A050	50	2.0833	2.167
51268Z-0345052	51268Z-024A052	52	2.1667	2.250
51268Z-0345056	51268Z-024A056	56	2.3333	2.417
51268Z-0345060	51268Z-024A060	60	2.5000	2.583
51268Z-0345064	51268Z-024A064	64	2.6667	2.750
51268Z-0345066	51268Z-024A066	66	2.7500	2.833
51268Z-0345070	51268Z-024A070	70	2.9167	3.000
51268Z-0345072	51268Z-024A072	72	3.0000	3.083
51268Z-0345076	51268Z-024A076	76	3.2500	3.333
51268Z-0345084	51268Z-024A084	84	3.5000	3.583
51268Z-0345090	51268Z-024A090	90	3.7500	3.833
51268Z-0345096	51268Z-024A096	96	4.0000	4.083
51268Z-0345099	51268Z-024A099	99	4.1250	4.208

¹T4 or T351 Aluminum Alloy; anodized before cutting.

Available on special order: 14-1/2° P.A., teeth not listed, different bore size and/or material, passivation for stainless steel.

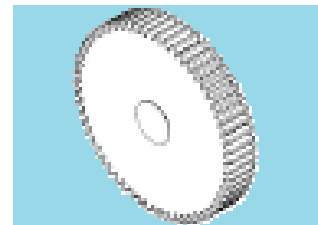
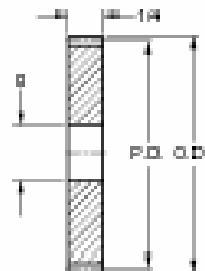


INCH

Hubless Spur Gears - 24 Pitch

■ 14-1/2° PRESSURE ANGLE

■ 1/4" FACE WIDTH



MATERIAL: Steel

Catalog Number	No. of Teeth	P.D.	O.D.	B Bore
A 1C 1-H2-4012	12	.593	.593	1/4
A 1C 1-H2-4014	14	.583	.607	
A 1C 1-H2-4015	15	.625	.708	
A 1C 1-H2-4016	16	.667	.750	
A 1C 1-H2-4016A	16	.667	.750	5/16
A 1C 1-H2-4018	18	.750	.833	1/4
A 1C 1-H2-4018A	18	.750	.833	5/16
A 1C 1-H2-4020	20	.833	.917	1/4
A 1C 1-H2-4021	21	.875	.958	1/4
A 1C 1-H2-4021A	21	.875	.958	3/8
A 1C 1-H2-4022	22	.917	1.000	1/4
A 1C 1-H2-4024	24	1.000	1.083	3/8
A 1C 1-H2-4024A	24	1.000	1.083	1/2
A 1C 1-H2-4028	28	1.167	1.250	3/8
A 1C 1-H2-4030	30	1.250	1.333	1/2
A 1C 1-H2-4032	32	1.333	1.417	3/8
A 1C 1-H2-4036	36	1.500	1.583	3/8
A 1C 1-H2-4036A	36	1.500	1.583	1/2
A 1C 1-H2-4040	40	1.667	1.750	
A 1C 1-H2-4042	42	1.750	1.833	
A 1C 1-H2-4044	44	1.833	1.917	
A 1C 1-H2-4045	45	1.875	1.958	3/8
A 1C 1-H2-4048	48	2.000	2.083	3/8
A 1C 1-H2-4048A	48	2.000	2.083	1/2
A 1C 1-H2-4054	54	2.250	2.333	3/8
A 1C 1-H2-4056	56	2.333	2.417	1/2
A 1C 1-H2-4060	60	2.500	2.583	
A 1C 1-H2-4064	64	2.667	2.750	
A 1C 1-H2-4066	66	2.750	2.833	
A 1C 1-H2-4072	72	3.000	3.083	

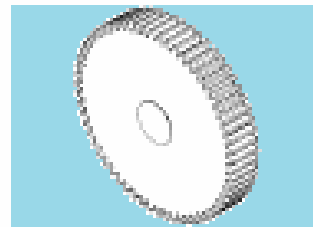
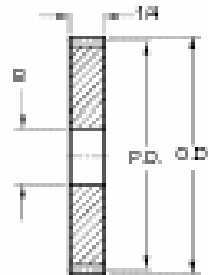
For large quantity orders, discounts available.



Hubless Spur Gears - 24 Pitch

■ 14 1/2° PRESSURE ANGLE

■ 1/4" FACE WIDTH



MATERIAL: Brass

Catalog Number	No. of Teeth	P.D.	O.D.	Bore
A 1B 1-NG2408	8	.393	.417	1/8
A 1B 1-NG2409	9	.375	.458	
A 1B 1-NG2410	10	.417	.500	
A 1B 1-NG2411	11	.458	.542	3/16
A 1B 1-NG2412	12	.500	.583	
A 1B 1-NG2414	14	.583	.667	
A 1B 1-NG2415	15	.625	.708	
A 1B 1-NG2416	16	.667	.750	
A 1B 1-NG2418	18	.750	.833	
A 1B 1-NG2420	20	.833	.917	
A 1B 1-NG2424	24	1.000	1.083	

Modifications of standard parts performed at nominal charge.



Hubless Composite Spur Gears - 24 Pitch

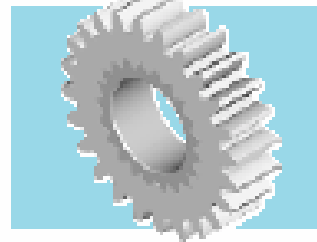
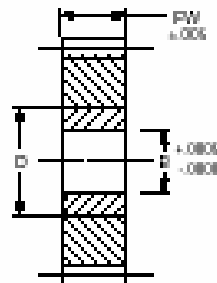
■ AGMA Q9

■ 20° PRESSURE ANGLE

■ 1/4 & 3/8 FACES

■ 3/8 & 1/2 BORES

INTECH Power-Core™



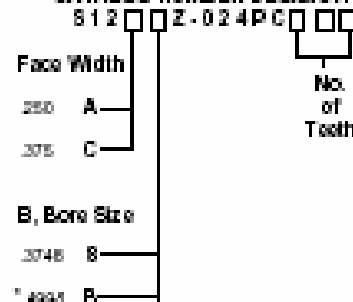
FEATURES:

- Self-lubricating
- Quiet operation
- Precision hobbed & machined
- Integral metal core
- Dimensionally stable against moisture
- High torque transmission

- Lightweight
- Shock-absorbent
- Non-corrosible

MATERIAL: Gear- Cast Nylon 12 (PA12G)
 Knurled Core - 303 Stainless Steel

CATALOG NUMBER DESIGNATION:



No. of Teeth	P.D.	O.D.	D Core Dia.
24	1.0000	1.083	.620
30	1.2500	1.333	.767
32	1.3333	1.417	.767
36	1.5000	1.583	.767
48	2.0000	2.083	1.161
60	2.5000	2.583	1.375
64	2.6666	2.750	1.375
72	3.0000	3.083	1.575
96	4.0000	4.083	1.669

* Only available with 48 to 96 teeth

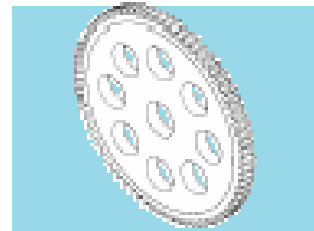
Example:

512A02-024PC064 is a .250 Face, .3748 Bore, 24 Pitch Hubless Spur Gear with 64 Teeth.

NOTE: Other face widths, number of teeth, bore diameters and carbon steel core available on special order.

See pages 1-6 thru 1-8 for technical data on Power-Core™ material.

■ AGMA Q10 ■ 20° PRESSURE ANGLE ■ 1/8 FACE ■ 2/8 BORE



Catalog Number	No. of Teeth	P.D.	O.D.	A Dia.	B Dia.	C Dia.
551208 Z-62-M 131	31	0.8750	0.868			
551208 Z-62-M 134	34	1.0000	1.003	5/8		
551208 Z-62-M 135	35	1.0417	1.125			
551208 Z-62-M 138	38	1.2500	1.233	7/8		
551208 Z-62-M 132	32	1.3333	1.417		—	—
551208 Z-62-M 135	35	1.4583	1.542	1-1/8		
551208 Z-62-M 136	36	1.5000	1.583			
551208 Z-62-M 140	40	1.6667	1.750	1-3/8		
551208 Z-62-M 142	42	1.7500	1.833			
551208 Z-62-M 145	45	1.8750	1.958			
551208 Z-62-M 146	46	1.9167	2.000	1-5/8	7/32	13/16
551208 Z-62-M 148	48	2.0000	2.083			
551208 Z-62-M 150	50	2.0833	2.167	1-7/8	5/16	1-3/32
551208 Z-62-M 155	55	2.2917	2.375			
551208 Z-62-M 156	56	2.3333	2.417	2-1/8		1-3/8
551208 Z-62-M 160	60	2.5000	2.583			
551208 Z-62-M 164	64	2.6667	2.750			
551208 Z-62-M 165	65	2.7083	2.792	3-3/8	3/8	1-3/8
551208 Z-62-M 170	70	2.9167	3.000	2-5/8		
551208 Z-62-M 172	72	3.0000	3.083	2-5/8		
551208 Z-62-M 184	84	3.5000	3.583	3-1/8		1-3/4
551208 Z-62-M 196	96	4.0000	4.083	3-5/8		

1-137



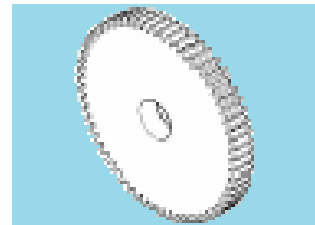
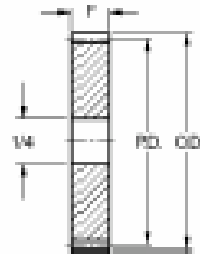
INCH

Nonmetallic Hubless Spur Gears - 24 Pitch

■ 14-1/2° PRESSURE ANGLE

■ MACHINED

■ 1/4 BORE



MATERIAL: Delrin®
250° F - Maximum Temperature

Catalog Number	No. of Teeth	P.D.	O.D.	F Face Width
A-1P-1-1024016	16	.750	.833	3/8
A-1P-1-1024024	24	.875	.968	3/8
A-1P-1-1024048	48	2.000	2.083	1/4
A-1P-1-1024096	96	4.000	4.083	1/4

NOTE: To be discontinued when present stock is depleted.

Did You Know?

... That pricing for any component in this catalog is available through the Sales Department? Simply call, fax or write in your request for a quote for any component that you think you might want to use in your design.

CALL: 516-328-3300 or FAX: 516-326-8827



INCH

Worm Gears & Worms - 48 Pitch

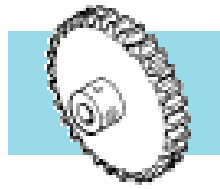
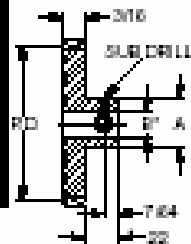
■ ACMA Q10

■ RIGHT-HAND

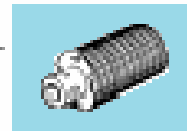
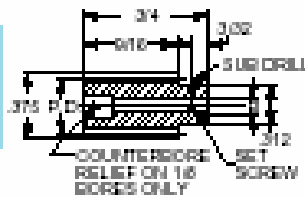
■ SINGLE, DOUBLE & QUADRUPLE THREAD

■ 1/8, 3/16 & 1/4 BORES

GEARS



WORM GEAR



WORM

WORM GEARS

CATALOG NUMBER DESIGNATION:

S1 C 8 □ Z - P 0 4 8 □ □ □ □

B
Bore Size.1246 Bore 3
.1673 Bore 4
.2465 Bore 6No.
of
Teeth

Thread Code

Single (14-1/2° P.A.) S

Double (20° P.A.) D

Quadruple (25° P.A.) Q

No. of Teeth	P.D.
30	0.6250
35	0.7292
40	0.8333
45	0.9375
50	1.0417
55	1.1458
60	1.2500
65	1.3541
70	1.4583
75	1.5625
80	1.6667
85	1.7708
90	1.8750
95	1.9792
100	2.0833
105	2.1875
110	2.2917
115	2.3958
120	2.5000
^a 180	3.7500
^a 360	7.5000

B +.0005 -.0008	A	Screw Size
.1246	.312	#2-56
.1673	.375	#4-40
.2465	.500	#6-32

Ratio = $\frac{\text{No. Teeth}}{\text{No. Threads}}$

MATERIAL:

Stonze GG-G-637 Alloy 404

Example:

S1C832AP048D40D is a 1/8" Bore Worm Gear with 40 Teeth, Double Threaded.

^a Available For 1/4" Bore Only^a 2 Pcs. Construction, .28 Hub Length.

MATERIAL: 303 Stainless Steel

WORMS							
Catalog Number	B +.0005 -.0003	P.D.	Thread	P.A.	Lead	Lead Angle	Screw Size
S1093Z-P048S	.1246	.3333	Single	14-1/2°	.0654	3°35'	#2-56
S1094Z-P048S	.1673						#4-40
S1093Z-P048SD	.1246		Double	20°	.1309	7°7'	#2-56
S1094Z-P048SD	.1673						#4-40
S1093Z-P048SQ	.1246	.3333	Quadruple	25°	.2013	14°2'	#2-56
S1094Z-P048SQ	.1673						#4-40

Available on special order: Worm Gears - Teeth polished, different bore size, clamp type hub.

Worms - Different bore size and/or material, precision for stainless steel.

5 INCH

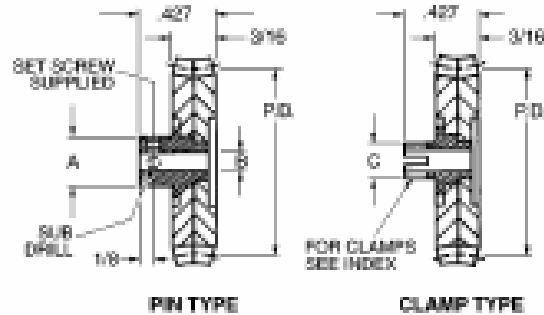
Anti-Backlash Worm Gears - 48 Pitch

■ ACMA Q10

■ RIGHT-HAND

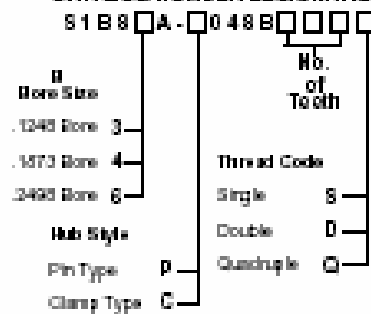
■ SINGLE, DOUBLE & QUADRUPLE THREAD

■ 1/8, 3/16 & 1/4 BORES



Function Component

CATALOG NUMBER DESIGNATION:



A	B	C	Screen Size	Sub Drill
.312	+.0005 -.0000	+.000 -.003	#2-56	#50
.375	.1248	.188	#4-40	#60
.500	.1873	.250	#6-32	#60
	.2498	.312		

Thread	No. of Teeth	P.D.	Matching Worm
Single (14-1/2° P.A.)	70	1.4583	NOTE 1
	72	1.5000	
	80	1.6667	
	90	1.8750	
	96	2.0000	
Double (20° P.A.)	100	2.0833	NOTE 2
	70	1.4583	
	72	1.5000	
	80	1.6667	
	90	1.8750	
Quadruple (25° P.A.)	96	2.0000	NOTE 3
	100	2.0833	
	70	1.4583	
	72	1.5000	
	80	1.6667	

Available on request. Teeth not listed, different bore size.

MATERIAL:

Gears: Bronze GG-B-637 Alloy 404

Hubs: 303 Stainless Steel

Springs: 302 Stainless Steel Spring Tempered

Example:

S1B84A-P048B080D is a 3/16" Bore Pin Type Anti-Backlash Worm Gear with 80 Teeth, Double Threaded.

NOTE 1: Meshes with S1D60 Z-P048B5 and S1D64 Z-P048B5 worms only.

NOTE 2: Meshes with S1D60 Z-P048B5 and S1D64 Z-P048B5 worms only.

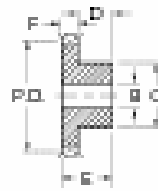
NOTE 3: Meshes with S1D60 Z-P048B5 and S1D64 Z-P048B5 worms only.

Gear Product Finder

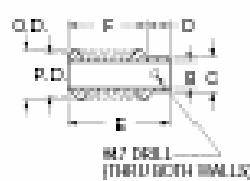


Worm Gears and Worms - 48 Pitch

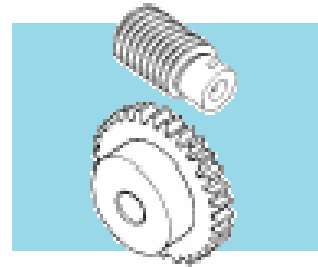
■ 14-1/2° PRESSURE ANGLE ■ RIGHT-HAND ■ SINGLE-THREAD



WORM GEAR



WORM



GEARS

1

MATERIAL: Bronze

WORM GEARS								
Catalog Number	No. of Teeth	P.D.	B Bore	F Face Width	E Length	C Hub Dia.	D Hub Proj.	Type
A 1B G-W48020	20	.417	3/16	1/8	5/16	11/32	3/16	Plain
A 1B G-W48024	24	.500				7/16		
A 1B G-W48030	30	.625				1/2		
A 1B G-W48036	36	.750		1/8	3/8	1/2	1/4	
A 1B G-W48040	40	.833				1/2		
A 1B G-W48045	45	1.000				5/8		
A 1B G-W48060	60	1.250	1/4	1/8	3/8	5/8	1/4	Web Plain
A 1B G-W48072	72	1.500				1/2		
A 1B G-W48080	80	1.667	5/16	1/8	7/16	5/8	5/16	Web Plain
A 1B G-W48096	96	2.000	1/4			6/16		
A 1B G-W48100	100	2.083	1/4	1/8	7/16	11/16	5/16	
A 1B G-W48120	120	2.500	5/16			6/16		

MATERIAL: Steel

LEAD: .0054

LEAD ANGLE: 3° 35'

WORMS								
Catalog Number	P.D.	O.D.	B Bore	F Face Width	E Length	C Hub Dia.	D Hub Proj.	Finish
A 1C S-W48	.333	.375	3/16	9/16	3/4	.360	3/16	Soft
A 1Q S-W48								Hardened & Polished
A 1QSS-W48								Hardened & Ground

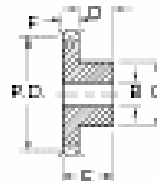


Worm Gears and Worms - 48 Pitch

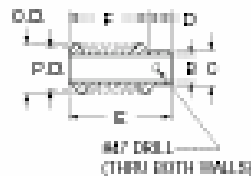
■ 20° PRESSURE ANGLE

■ RIGHT-HAND

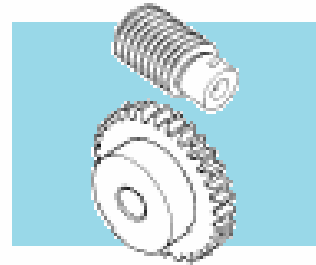
■ DOUBLE THREAD



WORM GEAR



WORM



MATERIAL: Bronze

WORM GEARS									
Catalog Number	No. of Teeth	P.D.	B Bore	F Face Width	E Length	C Hub Dia.	D Hub Proj.	Type	
A 1B 6Y48008	20	.417	3/16	1/8	5/16	11/32	3/16	Plain	
A 1B 6Y48004	24	.500		1/8	3/8	3/8	1/4		
A 1B 6Y48009	30	.625		1/8	3/8	1/2	1/4		
A 1B 6Y48006	36	.750							
A 1B 6Y48008	40	.833							
A 1B 6Y48008	50	1.041							
A 1B 6Y48009	60	1.250	5/16	1/8	3/8	5/8	1/2	Web	
A 1B 6Y48072	72	1.500							
A 1B 6Y48086	86	2.000							
A 1B 6Y48100	100	2.083	1/4	1/8	7/16	11/16	5/16		
A 1B 6Y48128	120	2.500	5/16						

MATERIAL: Steel

LEAD: .1300

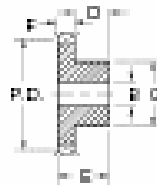
LEAD ANGLE: 7° 2'

WORMS								
Catalog Number	P.D.	O.D.	B Bore	F Face Width	E Length	C Hub Dia.	D Hub Proj.	Finish
A 1C 5-Y48	.333	.375	3/16	5/16	3/4	.200	3/16	Soil
A 1C 5Y48								Hardened & Polished
A 1C55-Y48								Hardened & Geared

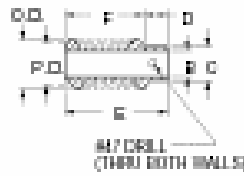
For engineering assistance for all SDP components, call on our application engineers.

Worm Gears and Worms - 48 Pitch

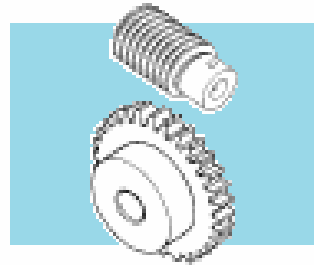
■ 25° PRESSURE ANGLE ■ RIGHT HAND ■ QUADRUPLE THREAD



WORM GEAR



WORM



MATERIAL: Bronze

WORM GEARS								
Catalog Number	No. of Teeth	P.D.	B Bore	F Face Width	E Length	C Hub Dia.	D Hub Proj.	Type
A 1B 6-246004	20	.417	3/16	1/8	5/16	11/32	3/16	Plate
A 1B 6-246004	24	.500		1/8	3/8	5/8	1/4	
A 1B 6-246004	30	.625		1/8	3/8	7/16	1/4	
A 1B 6-246004	36	.750		1/8	3/8	1/2	1/4	
A 1B 6-246004	40	.833		1/8	3/8	1/2	1/4	
A 1B 6-246004	48	1.000		1/8	3/8	1/2	1/4	
A 1B 6-246004	50	1.041		1/8	3/8	1/2	1/4	
A 1B 6-246004	60	1.250	1/4	1/8	7/16	5/8	5/16	Web
A 1B 6-246004	72	1.500		1/8	7/16	5/8	5/16	
A 1B 6-246004	80	1.666	5/16	7/16	7/16	9/16	5/16	
A 1B 6-246004	96	2.000						
A 1B 6-246004	120	2.500						

LEAD: 20:1

MATERIAL: Steel

LEAD ANGLE: 14° 2'

WORMS								
Catalog Number	P.D.	O.D.	B Bore	F Face Width	E Length	C Hub Dia.	D Hub Proj.	Finish
A 1C 5-246	.333	.375	3/16	9/16	3/4	.200	3/16	Soft
A 1D 5-246								Hardened & Polished
A 1D55-246								Hardened & Ground

Discounts available for large quantity orders.

**ANEXO C CATALOGO DE COMPONENTES ELECTRICOS MOTOR Y
POTENCIOMETRO**

	POT,10-TURN,WWND,2W,10K ohm Jameco # 183521 Mfg Ref #3540S-1-103	Tech_Doc	12.79 USD
	POT,10-TURN,WWND,2W,5K ohm Jameco # 183548 Mfg Ref #3540S-1-502	Tech_Doc	12.79 USD
	POT,25-TURN,CERMET,.5W,1K ohm Jameco # 183556 Mfg Ref #3299W-1-102	Tech_Doc	2.39 USD
	POT,25-TURN,CERMET,.5W,10K ohm Jameco # 183564 Mfg Ref #3299W-1-103	Tech_Doc	2.39 USD
	POT,25-TURN,CERMET,.5W,100Kohm Jameco # 183572 Mfg Ref #3299W-1-104	Tech_Doc	2.39 USD
	POT,CND PLASTIC,2W,500 ohm Jameco # 183610 Mfg Ref #53C3-500		7.95 USD
	POT,25-TURN,CERMET,1K ohm Jameco # 191396 Mfg Ref #3299Y-102	Tech_Doc	2.09 USD
	POT,25-TURN,CERMET,100K ohm Jameco # 191409 Mfg Ref #3299Y-104	Tech_Doc	2.09 USD



POT, 25-TURN, CERMET, 500 ohm

Jameco #[191417](#)
Mfg Ref #3299Y-1-501

[Tech_Doc](#)

[2.09 USD](#)



POT,25-TURN,CERMET,5K ohm

Jameco #[191425](#)
Mfg Ref #3299Y-502

[Tech_Doc](#)

[2.09 USD](#)

**ANEXO D ALGORITMO DEL CONTROL PARA LA TEMPERATURA EN
UN INTERCAMBIADOR DE CALOR**

El algoritmo del software utilizado para el controlador es el siguiente:

PRINCIPAL;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, ExtCtrls,
FIELDPOINT,GENERAL,COMUNICACIONFP,FPAUXILIAR,Buttons,Math,
ComCtrls, ToolWin, ActnMan, ActnCtrls, Gauges;

type

TFORMPRINCIPAL = class(TForm)
Temp1: TEdit;
Temp2: TEdit;
Image1: TImage;
Timer1: TTimer;
REGULADOR: TGroupBox;
Posicionador: TTrackBar;
ControldePosicion: TProgressBar;
Label1: TLabel;
Label6: TLabel;
RetroAlim: TEdit;
Label7: TLabel;
Edit1: TEdit;
Edit2: TEdit;
Label8: TLabel;
Label9: TLabel;
Button1: TButton;
TempR: TTrackBar;
Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label10: TLabel;

```

Label11: TLabel;
Button2: TButton;
Label12: TLabel;
Label13: TLabel;
Timer2: TTimer;
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Timer2Timer(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  FORMPRINCIPAL: TFormPRINCIPAL;
  PosicionV:real;
  Feedback,SUM,ValorControl:real;
  TempRef,Cp,Ci,Cd,Kp,Ki,Kd,error,Tcontrol,Tcontrol2,deltat:real;

const
  ModTC=1;
  ModSalida=2;
  ModEntrada=3;
  CanaldeEntrada=6;
  CanalSalida=6;

implementation

{$R *.dfm}

procedure TFormPRINCIPAL.FormCreate(Sender: TObject);
var i:integer;
begin

```

```

Image1.Picture.LoadFromFile(ExtractFilePath(Application.ExeName)+
'MONTAJE FINAL6.bmp');
DecimalSeparator:='.';
timer1.Enabled:=false;
timer2.Enabled:=false;
Kp:=strtofloat(Edit1.Text);
Ki:=strtofloat(Edit2.Text);
SUM:=0;
Tcontrol:=0;
Kd:=0.2;
FPCommLab:=TCommSerial.Create;
TCommSerial(FPCommLab).Open('COM1',10,115200);
FPBancoLab:=OFBanco.Create;
FPBancoLab.PComFP:=@FPCommLab;
FPModulo:=FPBancoLab.CrearModulo(Id_FP_1000,0);
FPModulo:=FPBancoLab.CrearModulo(Id_FP_TC_120,ModTC);

FPModulo.ListaCanales.Canales[6].ValorRango:=5;
FPModulo.ListaCanales.Canales[6].ValorAtributo[0]:=2;
FPModulo.ListaCanales.Canales[7].ValorRango:=5;
FPModulo.ListaCanales.Canales[7].ValorAtributo[0]:=2;

if FPCommLab.PortOpen and (FPModulo.Estado=0) then
  FPModulo.SetConfigurationChannels
else
  MessageDlg(txtErrorLab,mtError,[mbOk],0);
FPModulo:=FPBancoLab.CrearModulo(Id_FP_AO_200,ModSalida);
if FPCommLab.PortOpen and (FPModulo.Estado=0) then
  FPModulo.SetConfigurationChannels
else
  MessageDlg(txtErrorLab,mtError,[mbOk],0);

FPModulo:=FPBancoLab.CrearModulo(Id_FP_AI_110,ModEntrada);
FPModulo.ListaCanales.Canales[CanaldeEntrada].ValorRango:=4;
FPModulo.ListaCanales.Canales[CanaldeEntrada].ValorAtributo[0]:=0;
if FPCommLab.PortOpen and (FPModulo.Estado=0) then
  FPModulo.SetConfigurationChannels
else
  MessageDlg(txtErrorLab,mtError,[mbOk],0);

OFPModulo(FPBancoLab.Lista[ModTC]).SiLeyendo:=True;

```

```

with OFPModulo(FPBancoLab.Lista[ModTC]).ListaCanales do
begin
  Canales[6].SiLectura:=True;
  Canales[7].SiLectura:=True;
end;
OFPModulo(FPBancoLab.Lista[ModSalida]).SiLeyendo:=True;
with OFPModulo(FPBancoLab.Lista[ModSalida]).ListaCanales do
begin
  Canales[CanalSalida].SiLectura:=True;
end;
OFPModulo(FPBancoLab.Lista[ModEntrada]).SiLeyendo:=True;
with OFPModulo(FPBancoLab.Lista[ModEntrada]).ListaCanales do
begin
  canales[CanaldeEntrada].SiLectura:=True;
end;
FPModulo:=OFPModulo(FPBancoLab.Lista[ModTC]);
FPModulo.LeerDatos;
Temp1.Text:=FPFormatValor(FPModulo.ListaCanales.Canales[6],1);
Temp2.Text:=FPFormatValor(FPModulo.ListaCanales.Canales[7],1);

```

```
end;
```

```

procedure TFormMPRINCIPAL.Timer1Timer(Sender: TObject);
begin
  TTimer(Sender).Interval:=1000;
  FPModulo:=OFPModulo(FPBancoLab.Lista[ModTC]);
  FPModulo.LeerDatos;
  Temp1.Text:=FPFormatValor(FPModulo.ListaCanales.Canales[6],1);
  Tcontrol2:=Tcontrol;
  Tcontrol:=(FPModulo.ListaCanales.Canales[6].ValorCanal);
  Temp2.Text:=FPFormatValor(FPModulo.ListaCanales.Canales[7],1);
  TempRef:=TempR.Position;

```

```

FPModulo:=OFPModulo(FPBancoLab.Lista[ModEntrada]);
FPModulo.LeerDatos;

```

```

Feedback:=10.04*(FPModulo.ListaCanales.Canales[CanaldeEntrada].ValorCa
nal)-2.65;
RetroAlim.Text:=floattostrf(Feedback,ffixed,15,1)+ ' Grados';

```



```

ControldePosicion.Position:=10.04*(FPModulo.ListaCanales.Canales[Canalde
Entrada].ValorCanal)-2.65;
Tcontrol2:=Tcontrol;
error:=(TempRef-Tcontrol);

Cp:=Kp*error ;

Ci:=Ki*error;
SUM:=SUM+Ci;

Deltat:=Tcontrol-Tcontrol2;
Cd:=Kd*Deltat;
ValorControl:=Cp+SUM+Cd;

if ValorControl>20 then
Begin
ValorControl:=20;
SUM:=20-Cp-Cd;
end;
if ValorControl<0 then
begin
ValorControl:=0;
SUM:=0+Cp+Cd;
End;
RetroAlim.Text:=floattostrf(ValorControl,ffixed,15,5)+ ' Grados';

OFPModulo(FPBancoLab.Lista[ModSalida]).EscribirCanal(CanalSalida,Valor
Control);

end;

procedure TFormMPRINCIPAL.Button1Click(Sender: TObject);
begin
SUM:=0;
Kp:=strtofloat(Edit1.Text);
Ki:=strtofloat(Edit2.Text);
TempRef:=TempR.Position;
timer1.Enabled:=true;

```

```
timer2.Enabled:=false;
```

```
end;
```

```
procedure TFormPrincipal.Timer2Timer(Sender: TObject);  
begin
```

```
  TTimer(Sender).Interval:=100;
```

```
  FPModulo:=OFPModulo(FPBancoLab.Lista[ModTC]);
```

```
  FPModulo.LeerDatos;
```

```
  Temp1.Text:=FPFormatValor(FPModulo.ListaCanales.Canales[6],1);
```

```
  Temp2.Text:=FPFormatValor(FPModulo.ListaCanales.Canales[7],1);
```

```
  FPModulo:=OFPModulo(FPBancoLab.Lista[ModEntrada]);
```

```
  FPModulo.LeerDatos;
```

```
  Feedback:=10.04*(FPModulo.ListaCanales.Canales[CanaldeEntrada].ValorCa  
nal)-2.65;
```

```
  RetroAlim.Text:=floattostrf(Feedback,ffixed,15,1)+ ' Grados';
```

```
  ControldePosicion.Position:=10.04*(FPModulo.ListaCanales.Canales[Canalde  
Entrada].ValorCanal)-2.65;
```

```
  PosicionV:=(Posicionador.position)*19.4/90;
```

```
  OFPModulo(FPBancoLab.Lista[ModSalida]).EscribirCanal(CanalSalida,Posici  
onV);
```

```
end;
```

```
procedure TFormPrincipal.Button2Click(Sender: TObject);  
begin
```

```
  timer1.Enabled:=false;
```

```
  timer2.Enabled:=true;
```

```
end;
```

```
end.
```

