



**UNIVERSIDAD CATOLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TECNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERIA ELECTRONICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

TRABAJO DE TITULACION

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRONICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TITULO:

**ESTUDIO DEL CONTROL AUTOMATIZADO PARA LA PRECISIÓN DE LA
PRESIÓN DE UNA VÁLVULA PROPORCIONAL DEL SISTEMA
HIDRÁULICO DE MAQUINAS INYECTORAS APLICADA EN INDUSTRIAS
PLÁSTICAS.**

AUTOR:

RIVERA CHAVEZ JOSE ALFREDO

TUTOR:

ING. JUDITH GALVEZ SOTO

GUAYAQUIL, ECUADOR

2015



**UNIVERSIDAD CATOLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TECNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERIA ELECTRONICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

CERTIFICACION

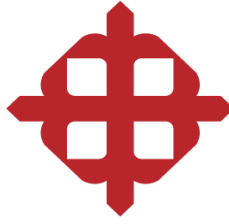
Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **Rivera Chávez José Alfredo**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de Ingeniero electrónico en control y automatismo.

TUTOR

MSc. JUDITH GALVEZ SOTO

DIRECTOR DE LA CARRERA

MSc. MIGUEL ARMANDO HERAS SANCHEZ



**UNIVERSIDAD CATOLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TECNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERIA ELECTRONICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

DECLARACION DE RESPONSABILIDAD

Yo, José Alfredo Rivera Chávez

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación **ESTUDIO DEL CONTROL AUTOMATIZADO PARA LA PRECISIÓN DE LA PRESIÓN DE UNA VÁLVULA PROPORCIONAL DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE MAQUINAS INYECTORAS APLICADA EN INDUSTRIAS PLÁSTICAS** previa a la obtención del título de ingeniero electrónico en control y automatismo, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las paginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría

En virtud de esta declaración, me responsabilizó del contenido, veracidad y alcance científico del trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 20 días del mes de marzo del año 2015

EL AUTOR

JOSE ALFREDO RIVERA CHAVEZ



**UNIVERSIDAD CATOLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TECNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERIA ELECTRONICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

Yo, José Alfredo Rivera Chávez

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del trabajo de Titulación: **ESTUDIO DEL CONTROL AUTOMATIZADO PARA LA PRECISIÓN DE LA PRESIÓN DE UNA VÁLVULA PROPORCIONAL DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE MAQUINAS INYECTORAS APLICADA EN INDUSTRIAS PLÁSTICAS**, cuyo contenido, ideas y criterios de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil a los 24 días febrero del 2015

EL AUTOR

JOSE ALFREDO RIVERA CHAVEZ

AGRADECIMIENTO

Agradezco a dios por darme la vida, al inmemorable esfuerzo que ha realizado mi madre y quien en vida fue mi padre político, hermanos, mi padre y mi esposa; por darme aquellos consejos que ayudaron a establecer un régimen de formación, alentándome y aconsejándome para poder alcanzar mis metas, los cuales fueron constantes como pilar para poder cumplir dichos objetivos.

También un verdadero agradecimiento al profesional que me ayudo a formar este tema como es la Ing. JUDITH GALVEZ SOTO, quien al transcurso de cumplir este objetivo apporto con su apoyo de manera incondicional, a su vez a las personas que mantuvieron siempre el soporte teórico a la mano para poder establecer mis estudios, de la mejor manera en esta carrera como son el Ing. EFREN HERRERA y Ing. EDUARDO MENDOZA; y todos los profesores de la universidad católica de Santiago de Guayaquil, que con su gran apoyo académico lograron formar en mí un profesional competente, guiándome en el camino de la enseñanza y así poder conseguir el más preciado anhelo profesional, habiendo cumplido un ciclo en mi vida y poder encaminarme en el ámbito laboral.

José Alfredo Rivera Chávez

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi madre y quien en vida fue mi padre político, mi esposa e hijos; por darme constantemente el apoyo necesario e incondicional para poder cumplir con mi preparación académica, velando por mi salud y bienestar siendo un verdadero apoyo en mi vida. Quienes nunca dudaron de mi capacidad e inteligencia para poder alcanzar el objetivo propuesto en mi carrera profesional.

José Alfredo Rivera Chávez

RESUMEN

Este proyecto fue realizado en base la experiencia adquirida en una empresa la cual pertenece a una de las industrias plásticas más grande del Ecuador; la misma que se evidenciaba bastante inconvenientes acerca del control de presión del sistema hidráulico cuando este se encontraba función automática, el mismo que es controlado por una válvula proporcional y un autómeta el mismo que controla todo el sistema automatizado de la maquina; para este caso hemos implementado un modelo matemático del sistema hidráulico de una maquina inyectora, llevando a un sistema de control de lazo cerrado donde tendremos que controlar dicha presión en base la plataforma de **MATLAB**, la misma que por medio de su herramienta **simulink** nos permite simular, controlar y extraer valores reales de control de nuestro sistema.

En vista de esta problemática hemos determinado en realizar este estudio para que se genere en un sistema automatizado de control estable, mejorando la productividad de la maquina, incrementando la eficiencia de la misma. Así hemos emprendido este estudio con la resolución de este sistema y la elaboración del mismo en cinco capítulos los cuales hacen referencia de los puntos más importantes y recomendables de elaboración de esta tesis; de manera organizada y detalladamente sus mayores referencias.

Obteniendo como contenido al primer capítulo la introducción, planteamiento del problema, justificación, objetivos (general como específico), metodología de investigación hipótesis, de la tesis; donde damos a conocer la importancia de llevar a cabo este estudio, el complemento general donde conlleva a realizarlo y el de porque se establece la importancia de esta tesis, ya que de ella depende el mejoramiento productivo de dichas maquinas.

Para el segundo capítulo entregamos los temas y conceptos básicos de la conformación de maquina inyectora mas sus partes, así como los componentes de mayor importancia que logren el funcionamiento de la maquina, así podemos comprender el comportamiento del sistema, y la evaluación de los puntos más críticos de estudio en el cual nos hemos propuesto a estudiar.

Para el tercer capítulo ponemos a conocer los sistemas de control de utilización para dicho propósito de nuestro estudio, los mismos que en base de una exhaustiva investigación se logra determinar el regulador necesario para aplicarlo a nuestra planta, y como se establecen en los lazos abiertos y cerrados.

Obteniendo en el capítulo cuatro la utilización de estos reguladores en autómatas, ubicándolo en el mejor sea posible, de mayor eficiencia y que garantice la estabilidad del sistema; en este caso no es necesario ubicar a uno de ellos como el estudio del **Siemens S7-1200**, sus configuración, comandos, componentes y utilización adecuada; a esto damos a conocer sobre la plataforma **MATLAB** que es la que ayudaría conseguir los valores necesario para el control de nuestra planta, así como hacemos estudio de sus comandos y la manera de cómo poder trabajar en la herramienta a utilizar el control del sistema como es **simulink**. Esto hace referencia al propósito de nuestro estudio, se le informa al lector cual sería la determinación del tema, donde y como aplicarlo, para así tener cumplido nuestros objetivos de cómo poder enfocar dicho estudio al medio industrial.

Para capítulo cinco mostraremos el comportamiento del sistema hidráulico de la máquina de forma teórica para implementar a la práctica, evaluando de cómo se comportaría nuestro sistema en estado **pasivo** y **activo** que en este caso sería el de mayor seriedad ya que nuestro estudio se formaliza en buscar la estabilidad del sistema por medio de variación de presiones en válvulas proporcionales, el cual representa el estado activo como en un ciclo automático donde las presiones empiezan a variar dependiendo la regulación del sistema e la necesidad de la producción. Utilizando así la herramienta de **simulink** podremos estabilizar nuestro sistema con la aplicación de **TUNER** el mismo que nos ayuda encontrar los valores a implementar en la automática necesaria el cual deberá mantener como utilidad el regulador necesario para poder cumplir nuestros objetivos como es el PID de lazo cerrado.

ABSTRACT

This project was made based on experience in a company which belongs to one of Ecuador's largest plastics industries; it was evident that quite inconvenient about controlling hydraulic system pressure when this automatic function was the same which is controlled by a proportional valve and a controller that controls it all automated machine; for this case have implemented a mathematical model of hydraulic system of injection machine, leading to a system of closed loop control where we have to control this pressure based MATLAB platform, the same as through its simulink tool allows us to simulate , monitor and control actual values extracted from our system.

In view of this problem we have determined in this study to be generated in an automated stable control, improving productivity of the machine, increasing the efficiency of it. So we undertook this study to resolution of this system and its preparation in five chapters which refer to the most important and best crafting points of this thesis; so organized and detail their older references.

Obtaining such content to the first chapter introduction, problem statement, justification, (general and specific) objectives, research methodology hypothesis of the thesis; where we present the importance of conducting this study, the overall complement which leads to do it and because the importance of this thesis is established, since it depends on the productive improvement of these machines.

In the second chapter we deliver the basic themes and concepts shaping injection machine more parts and components more important than achieving the operation of the machine, so we can understand the system behavior, and evaluation of points critics of study in which we intend to study.

In the third chapter we to know the control systems used for that purpose of our study, the same as on the basis of a thorough investigation is done to determine the regulator need to apply to our plant, and as set out in the open loops and closed.

Getting in the fourth chapter the use of these regulatory automatons, placing it in the best possible, more efficient and ensure system stability; in this case it is not necessary to place one of them as the study of Siemens S7-1200, their configuration commands,

components and proper use; this we report on the MATLAB platform that is what would help achieve the necessary control of our plant values, and we study its commands and how to how to work on the tool to use control system as is simulink. This refers to the purpose of our study, it informs the reader what would be the determination of the issue, where and how to apply it in order to have achieved our goals of how to approach this study to the industrial environment.

Chapter Five To show the behavior of the hydraulic system of the machine theoretically to implement in practice, assessing how our system would behave in passive and active state in this case would be more seriously because our study is formalized in search system stability by pressure variation in proportional valves, which represents the active state and in an automatic cycle where pressures begin to vary the regulating system and the need for production. Using Simulink tool and can stabilize our system by applying the same TUNER helps us find the values needed to implement automaton which should keep as utility regulator can to meet our objectives such as PID closed loop .

INDICE GENERAL

CAPITULO 1 (aspectos generales)	1
1.0 Introducción	1
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivos General	4
1.3.2 Objetivo Especifico	4
1.4 Metodología de la investigación	5
1.5 Hipótesis	5
CAPITULO 2 (maquinas inyectoras)	6
2.1 Prensa (unidad de aberturas y cierre)	8
2.2 Unidad de inyección	9
2.3 Unidad de control	10
2.4 Unidad de potencia	11
2.5 Sistema de potencia eléctrico	11
2.6 Sistema de potencia Hidráulico	11
2.7 Golpe de Ariete	14
2.8 Bombas Hidráulicas	14
2.9 Ciclo de Inyección	17
2.10 Tiempos de Ciclo	17
2.11 Transductores de velocidad	19
2.12 Transductores de presión	20
2.13 Transductores depresión Electromecánicas	20
2.14 Transductores Galgas Extensiométricas	20
2.15 Transductores Piezoeléctricas	20
2.16 Transductores Resistivos	21
2.17 Transductores de Presión Inteligente	21

2.18	LVDT	23
2.19	Demoduladora de Portadora	24
2.20	Soporte Electrónico	26
2.21	Válvulas Proporcionales	26
2.22	Válvula de Control de Flujo Mecánica	27
2.23	La Válvula de Control de Flujo	28
2.24	La Válvula de Control Direccional Proporcional	28
2.25	Características de la Válvula Control Direccional Proporcional	32
2.26	Válvula Proporcional Operadas directamente y por piloto	33
2.27	Curva de Caudal/voltaje de una Válvula de control Direccional prop.	34
2.28	Válvulas limitadoras de presión proporcional	37
2.29	Ajuste de anulación	38
2.30	Filtrado	38
2.31	Control continuo	39
2.32	Control de aceleración y desaceleración de una válvula proporcional	41
2.33	Funciones	43
2.34	Función escalón unitario	43
2.35	Función rampa	43
CAPITULO 3 (Análisis del control de la válvula proporcional del sistema)		46
3.1	Sistema de Control	46
3.2	Control lazo abierto	46
3.3	Control lazo cerrado	47
3.4	Lazo control todo o nada	49
3.5	Lazo control ON/OFF	50
3.6	Señal de referencia o consigna	51
3.7	Perturbaciones	51
3.8	Comparador o detector de error	51
3.9	Preccionador	51

3.10	Transductor o detector	51
3.11	Variable de Procesos SET-POINT	52
3.12	Regulador	52
3.13	Control Proporcional	53
3.14	Control Integral	53
3.15	Control Derivativo	54
3.16	Control Proporcional-Integral-derivativo PID	55
3.17	Pasos de diseño de controlador PID en el tiempo	56
3.18	Ajuste de un PID	59
CAPITULO 4 (PLC controladores PID en autómatas Siemens)		60
4.1	El Simatic S7-1200	60
4.2	Características de Simatic S7-1200	62
4.3	Memoria de usuario integrada	63
4.3.1	Memoria de usuario integrada	63
4.3.2	Características adicionales	63
4.3.3	Rendimiento	64
4.4	Diseño escalable y flexible (Simatic S7-1200)	64
4.4.1	Expansión de la capacidad de la CPU	64
4.4.2	Módulos de Señales	65
4.4.3	Cables de expansión para módulos de señales	65
4.5	Comunicación de S7-1200	66
4.6	Tecnología integrada y diagnóstico	66
4.6.1	Controladores de alta velocidad	66
4.6.2	Generadores de impulsos	66
4.6.3	Controlador de movimientos	67
4.6.4	Controlador PID	67
4.7	Características del lenguaje de programación Simatic	69
4.7.1	Ventajas e inconvenientes del lenguaje AWL	70

4.7.2	Ventajas e inconvenientes del lenguaje KOP	70
4.7.3	Ventajas e inconvenientes del lenguaje FUP	71
4.8	Funciones para regulación PID continuas (FB-41)	72
4.8.1	Rama de valor de consigna	73
4.8.2	Rama de valor real	74
4.8.3	Formación del error de regulación	74
4.8.4	Algoritmo PID	75
4.8.5	Procesamiento de valores manuales	76
4.8.6	Procesamiento de valores manipulados	76
4.8.7	Aplicación de magnitud perturbadora	77
4.8.8	Rearranqué completo	77
4.9	Características de los parámetros de los controladores PID	77
4.9.1	Sintonía de los parámetros de PID con S7	78
4.10	PID SELF – TUNER TUNING_C	79
4.10.1	FB "TUNING_C"	79
4.11	MATLAB	80
4.12	Aplicaciones de MATLAB	81
4.13	Características MATLAB	81
4.14	Operación	81
4.15	Uso de MATLAB	81
4.16	SIMULINK	82
4.17	Librería de sistemas lineales en tiempo continuo	84
4.18	Bloque derivate	84
4.19	Bloque integrador	85
4.20	Bloque de función de transferencia	86
4.21	Bloque state-space	87
4.22	Bloque scope	87
4.23	Bloque step	89
4.24	Bloque sum	89

4.25 Bloque gain	90
CAPITULO 5 (desarrollo del estudio del proyecto)	92
5.1 Ventajas de maquinas de bajo nivel de producción	93
5.2 Desventajas de maquinas de bajo nivel de producción	93
5.3 Ventajas de maquinas de alto nivel de producción	94
5.4 Desventajas de maquinas de alto nivel de producción	94
5.5 Utilización de MATLAB para nuestro estudio	94
5.6 Análisis de la planta de control de válvula proporcional en variación	105
CONCLUSIONES	109
RECOMENDACIONES	110
BIBLIOGRAFIA	111
GLOSARIO	115
ANEXOS	137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tipos y características de motores hidráulicos	30
Tabla 4.1 Características de los controladores; k_p , k_i , k_d	92
Tabla 4.2 Características CPU para el FB TUNING –C	94
Tabla 5.1 Países de fabricación de maquinas inyectoras	106

INDICE DE GRAFICOS

Figura 2.1 Maquinas Inyectoras y sus partes	7
Figura 2.2 Prensa (unidad de abertura y cierre)	9
Figura 2.3 Diseño genérico de unidad de inyección	10
Figura 2.4 Motor Eléctrico	12
Figura 2.5 Motor Hidráulico	12
Figura 2.6 Acoplamiento de rejilla tipo falk	13
Figura 2.7 Tiempo de ciclo de inyección en una maquina convencional	19
Figura 2.8 Transductores Piezoeléctricos	21
Figura 2.9 Transductores Resistivos	21
Figura 2.10 Transductores de Presión Inteligente	22
Figura 2.11 LVDT con carga	24
Figura 2.12 Comportamiento del LVDT sometido a carga	24
Figura 2.13 Comportamiento de demodulador del LVDT	25
Figura 2.14 Núcleo LVDT y su composición	25
Figura 2.15 LVDT con acondicionados	26
Figura 2.16 Estructura de válvula de control de flujo mecánico	27
Figura 2.17 Válvula de control direccional proporcional con una solenoide	30
Figura 2.18 Válvula de control direccional proporcional con 2 solenoides	32
Figura 2.19 Comportamiento y diferencia de respuesta de válvula convencional vs válvula proporcional	33
Figura 2.20 Válvula de control direccional proporcional	34
Figura 2.21 Esquema hidráulico de la válvula direccional proporcional	35

Figura 2.22 Curva ideal caudal voltaje de una válvula proporcional	36
Figura 2.23 Curva real de una válvula proporcional	36
Figura 2.24 Válvula limitadora de presión proporcional	37
Figura 2.25 Sistema de control proporcional diagrama de velocidades, plano eléctrico, diagrama hidráulico	40
Figura 2.26 Control aceleración desaceleración de válvula proporcional	41
Figura 2.27 control de válvula prop. con generador rampa en motor hidráulico	42
Figura 2.28 Control de válvula prop. con generador rampa con cilindro hidr.	43
Figura 2.29 Escalón unitario	44
Figura 2.30 Función rampa	45
Figura 3.1 Control Lazo Abierto	47
Figura 3.2 Control Lazo Cerrado	48
Figura 3.3 Control todo o nada	50
Figura 3.4 Lazo de control on/off	50
Figura 3.5 Control proporcional	53
Figura 3.6 Control Integral	54
Figura 3.7 Diagrama en bloques de un control PID	55
Figura 3.8 Primer Método de Ziegler-Nichols	57
Figura 3.9 Parámetros del controlador PID	58
Figura 3.10 Segundo Método de Ziegler-Nichols	58
Figura 3.11 Conexión del Controlador PID	59
Figura 4.1 CPU Siemens	61
Figura 4.2 Clasificación de la gama de PLC SIEMENS	62

Figura 4.3 Características de S7 – 1200	64
Figura 4.4 Módulos de señales (SM)	65
Figura 4.5 Control PID S7 – 1200	68
Figura 4.6 Herramienta PID visualización online del control S7 – 1200	69
Figura 4.7 Lenguaje AWL del PLC siemens	70
Figura 4.8 Lenguaje KOP del PLC siemens	71
Figura 4.9 Lenguaje FUP del PLC siemens	72
Figura 4.10 Diagrama de bloque del regulador PID	73
Figura 4.11 Diagrama de bloque del regulador PID	74
Figura 4.12 Regulador PID, rama de valor real	74
Figura 4.13 Regulador PID, Error de regulación	75
Figura 4.14 Regulador PID, Algoritmo	76
Figura 4.15 Regulador PID, proceso de valores manipulado	77
Figura 4.16 Características de CPU para la FB “TUNING_C”	79
Figura 4.17 Grafica de herramienta de simulink	82
Figura 4.18 Bloques principales simulink	83
Figura 4.19 Bloque derivativo simulink	84
Figura 4.20 Bloque integrador simulink	84
Figura 4.21 Bloque función transferencia simulink	85
Figura 4.22 Bloque STATE-SPACE simulink	86
Figura 4.23 Bloque Scope simulink	87
Figura 4.24 Bloque Step simulink	88
Figura 4.25 Bloque Step simulink	89

Figura 4.26 Bloque Gain simulink	90
Figura 5.1 Representación del esquema de la planta	94
Figura 5.2 Esquema del bloque simulink planta	98
Figura 5.3 Repuesta de control de planta de estudio	99
Figura 5.4 Valores parámetros inicial de controlador PID	100
Figura 5.5 Utilización de TUNER PID	101
Figura 5.6 Repuesta de TUNER PID	102
Figura 5.7 TUNER PID	102
Figura 5.8 Repuesta de control después de utilizar TUNER PID	103
Figura 5.9 Planta con variación de presión del sistema	104
Figura 5.10 Repuesta de control PID variación de presión del sistema	106
Figura 5.11 Repuesta de control con TUNER PID variación de presión sistema	107
Figura 5.12 Repuesta de control con TUNER PID valores control de sistema	107

CAPITULO 1

ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCION

En el proceso de las industrias plásticas se generan constantemente problemas en las regulaciones de los parámetros de llenado del molde o envases que se empleen en dicha industria.

Ya que muchas de estas maquinas deben de controlar variables como temperatura, presión, velocidad, tiempo; dándoles como resultado el producto terminado ideal que cumplan con las normas en la que deben cumplir dicha empresa. A esto se basa este estudio, ya que las válvulas proporcionales son las encargadas de controlar dos de las variables más complejas en el proceso de la industrialización, y obtener los objetivos propuestos en dicho medio industrial.

En vista del problema que las válvulas proporcionales generan al no tener un control estable, se establece un estudio y modificación del controlador, utilizando un PLC SIEMENS S7-1200 que pueda ayudarnos a cumplir nuestros objetivos. Así determinar el alcance de nuestro estudio y pudiéndolo emplear al sector industrial que este lo requiera.

Se hará reconocimiento de este proyecto en el sector plástico para la mejora de la eficiencia de la válvula proporcional utilizadas en maquinas inyectoras de productos plásticos, las mismas que he mantenido por experiencia laboral por más de 7 años pudiendo aportar con conocimientos en dicho proceso industrial. Otorgándole al lector un amplio conocimiento de dicho proceso y de las falencias que se producirían al no tener un control estable de las válvulas proporcionales.

En este caso tomaremos para este estudio el control de una variable como es la presión del sistema hidráulico con una válvula proporcional controlada por un controlador PID de un PLC SIEMENS S7-1200.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las maquinas inyectoras del sector plástico se debe cumplir con la calidad del producto terminado para poder ser competente en el mercado, cuando este no cumple con las normas establecidas existe un decrecimiento en las ventas de dicha compañía, exponiéndose al problema el funcionamiento de la maquina ya que esta no cumple con el objetivo pretendido. En el momento de existir una deficiencia en el proceso se corre con estos riesgos de interés productivo.

El control de las variables es primordial para el proceso de las maquinas inyectoras en el sector plástico, siendo las más complejas la velocidad y presión, las mismas que se encuentran controladas por una válvula proporcional por cada variable; la misma que da eficiencia al proceso dependiendo de su funcionamiento y del control en el que se encuentre sometida dicho sistema hidráulico.

Cuando el control es deficiente el proceso produce falencias, ocasionando la perdida de la producción por no alcanzar los objetivos requeridos del producto como: material deteriorado (PVC) por defectos visuales del material de la presión no controlada, no llenado total del molde, espesor bajo en el producto terminado y exceso de presión ocasionando que el molde se empaque o sobrellene de material.

Este problema genera consecuencias muy graves, dependiendo el efecto que determine dicha causa, si es en el caso de que la maquina se encuentre con una producción de (PVC) poli cloruro de vinilo siendo el derivado del plástico más versátil, el mismo que empieza a tener su fluidez a los 80° y su descomposición a los 140°, al mantener un problema de falta de presión no podremos llenar el molde del producto a obtener y a su vez, el exceso de presión ocasionaría el deterioro del material por el incremento de la temperatura que se genera en el proceso, ocasionando que desprenda gases y la descomposición del material que se encuentra en el husillo, perjudicando al equipo y produciendo daños serios y de costos muy altos.

A su vez si la maquina se encuentra produciendo polipropileno (polímero termoplástico) el mismo que se empieza su fusión desde los 165° hasta los 286° que empieza ya a descomponerse, podría tener como efecto al no tener la presión necesaria él no llenado del molde y a su vez si este demandaría demasiada presión generaría el llenado total del molde ocasionando daños en el mismo ya que el material es ingresado por todos los puntos posibles del molde de inyección provocando el daño de piezas internas como, o´rings, resortes, pernos, acoples, engranajes, etc.

Considerando que estos problemas ocasionarían tanto el daño de la maquina como el incumplimiento de la producción; generándole a la empresa costos elevados en el mantenimiento del equipo, inversión de nuevos componentes de la máquina para reemplazo a futuro; y a su vez perdida de recursos de manera innecesarias en la producción, como consumo eléctrico, mano de obra, materia prima, y lo mas considerable de toda producción tiempo perdido en la productividad laboral.

1.3 JUSTIFICACION

En nuestro medio de producción de las industrias plásticas los procesos de elaboración deben de tener un control del sistema hidráulico totalmente estable, las maquinas de adquisición de este tipo de producción no por lo general son todas de controles estables, ya que muchas de ellas, son de año de productividad muy lejanas a las de la nueva tecnología (maquinas usadas); o a su vez no son de compañías de alto reconocimiento productivo de este tipo de maquinas inyectoras, las cuales llevan consigo una gran experiencia en el campo de procesos plásticos, mas sin embargo son de menor costo atrayendo la inversión de las empresas de nuestro país, sin tener la garantía suficiente de tener el control suficiente de dicho proceso para la elaboración de productos terminado en nuestro medio.

El establecer un control estable en los sistemas hidráulicos de los procesos de inyección en las industrias plásticas evitaría dichas consecuencias antes mencionadas, ya que el control del sistema hidráulico de dichas maquinas es de total importancia para estas

maquinas, ya sea de presión o velocidad; ubicando a la válvula proporcional como la responsable de dicha eficiencia a obtener en la producción.

En estos sistemas hidráulicos es prescindible tener el ajuste necesario de dichas variables, creando una estabilidad en el sistema por medio del controlador (PID) en la válvula a controlar en este caso la presión del sistema, para que sea más eficiente la productividad de la maquina.

El control de la presión y velocidad del proceso de inyección es necesario para cumplir con total eficacia la producción requerida, ya que sus efectos secundarios son de alto riesgo y de costo elevado, exponiendo al atraso de la producción, perdida de insumos, perdida de recursos, los cuales son importantes en el medio industrial.

El no tener un control estable generaría consecuencias como:

1. Daños en el proceso de inyección (deterioro de materia prima en proceso)
2. Daños en actuadores en las maquinas (por el golpe de ariete en el sistema)
3. Defectos en motores hidráulicos e eléctricos (elevación de temperatura)
4. Daños permanentes en sistemas mecánicos (fricción generada)

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Obtener mediante este estudio el mejor rendimiento de la maquina inyectora, dándole mayor eficiencia a la producción y lograr emprender conocimientos en el sector industrial plástico.

1.4.2 Objetivos específicos

Mediante un controlador PID optimizar el proceso de la válvula proporcional que controla la variable de presión del sistema de la inyectora, generando la estabilidad de nuestra planta en su totalidad.

Crear conocimientos sólidos en dichos componentes que dan efectividad en los procesos hidráulicos, generar las mejores posibilidades en dichos sistemas para poder obtener resultados óptimos en dicha producción.

Evitar averías en la maquina o actuadores que comprendan la misma, con la estabilidad que tendremos en el sistema hidráulico de nuestra maquina.

1.5 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

El estudio generado en esta tesis es la formación experimental – acción que se pueda desarrollar en desarrollo a esta problemática que se vive en el medio industrial del sector plástico, por motivos de generar el alcance máximo de la productividad y poder alcanzar los índices más altos de rendimiento del equipo.

1.6 HIPOTESIS

Las válvulas proporcionales son de gran importancia para las maquinas inyectoras que utilicen sistemas hidráulicos, el control automático que esta debe tener tiene que ser estable y de mayor eficacia para mantener el mejor control en el sistema en el que se esté empleando, en este caso hidráulico. Implementaremos en esta tesis las mejores condiciones de estabilidad de dicha válvula y con ajustes necesarios para poder conocer el comportamiento de la misma y como estabilizar su velocidad.

CAPITULO 2

MAQUINAS INYECTORAS

Felipe Díaz (2012); expone que el moldeo por inyección es una técnica muy popular para la fabricación de artículos muy diferentes; de este método se explica con la versatilidad de piezas que pueden fabricarse, la rapidez de fabricación, el diseño escalable desde procesos de prototipos rápidos, altos niveles de producción y bajos costos, alta o baja automatización según el costo de la pieza, geometrías muy complicadas que serian imposibles por otras técnicas, las piezas moldeadas requieren muy poco o nulo acabado pues son terminadas con la rigurosidad de superficie deseada, color y transparencia u opacidad, buena tolerancia dimensional de piezas moldeadas con o sin insertos y de diferentes colores. Las maquinas inyectoras son aquellas que se encargan de transformar la resina plástica en un fluido homogéneo con las condiciones adecuadas para poder ser inyectadas las mismas que se encuentran conformadas por componentes electromecánicos, eléctricos, electrónicos, mecánicos las cuales representaremos en la figura 2.1 como partes especificas y a su vez presentamos sus partes generales como:

1. Prensa (unidad de abertura y cierre)
2. Unidad de inyección
3. Unidad de control
4. Unidad de potencia

Las mismas que al realizar sus funciones en un control de lazo cerrado deben de controlar variables como:

- Temperatura
- Velocidad
- Presión
- Tiempo
- Posición

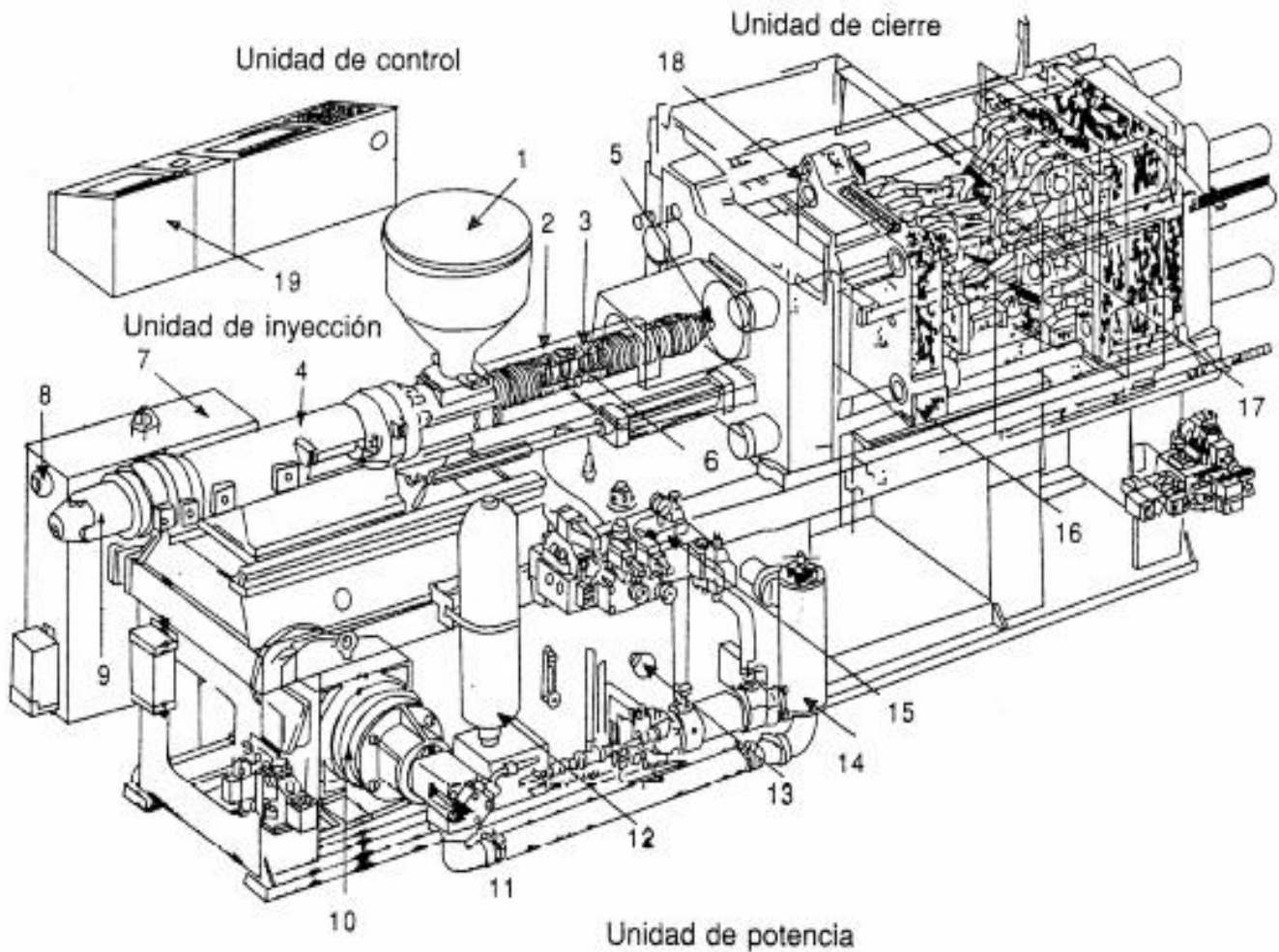


Fig. 2.1 maquina inyectora y sus partes

Fuente: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/conformado%20de%20plasticos.pdf pag 25

Según Felipe Díaz (2012), la estructura externa de la maquina inyectora está compuesta por los siguientes componentes:

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Tolva alimentación | 11. Bomba hidráulica |
| 2. Cubierta de barril | 12. Acumulador |
| 3. Barril con bandas calefacción | 13. Sensor de temperatura de aceite |
| 4. Cilindro de inyección | 14. Filtro |
| 5. Boquilla | 15. Válvula hidráulica de control |
| 6. Tornillo | 16. Platinas porta molde |
| 7. Controlador de temperatura | 17. Sistema de cierre con palancas |

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 8. Alarma de temperatura aceite | 18. Columnas guía |
| 9. Motor hidráulico | 19. Microprocesador para control |
| 10. Motor eléctrico | |

2.1 PRENSA (UNIDAD DE ABERTURA Y CIERRE)

Está formada por una prensa formada por dos placas porta molde una fija y otra que es móvil la misma que depende de otra placa fija la cual se mantiene sosteniendo como base el sistema. El sistema de accionamiento de la placa móvil puede ser un mecanismo de palancas acodadas, accionado hidráulicamente, un cilindro hidráulico o un sistema eléctrico de tornillo sin fin accionado por un motor dependiendo del diseño o tecnología de la maquina.

El parámetro fundamental para dimensionar una unidad de cierre es su fuerza para mantener el molde cerrado. Usualmente se da este valor en toneladas (ton). Otros parámetros importantes en una unidad de cierre son: la distancia mínima entre placas, la distancia máxima de apertura, las dimensiones de las placas y la distancia entre columnas, la carrera del sistema de expulsión. Estos datos se utilizan para dimensionar los moldes.

La estructura de la prensa son las partes mecánicas donde se realiza el movimiento de abertura y cierre de prensa, los mismos que se presentan en la figura 2.2; estos movimientos son efectuados por los actuadores como cilindros, válvulas pilotos, etc.; los mismos que son controlados la presión y velocidad de los fluidos por el sistema de control a estudiar.

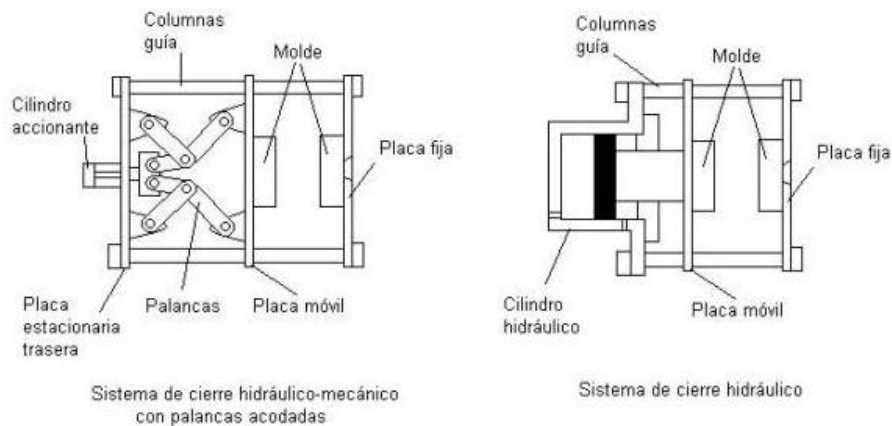


Fig. 2.2 prensa (unidad de abertura y cierre)

Fuente: http://docencia.udea.edu.co/ingenieria/moldes_inyeccion/unidad_2/maquina.html pag 1

2.2 UNIDAD DE INYECCION

Es aquella donde se forma el plástico, el mismo que es depositado en una tolva de alimentación, en forma de gránulos o polvo dependiendo el material a ser procesado, este material al bajar a la tolva directo al tornillo para poder ser calentado de tal manera que sea lo más fluido posible y así ser inyectado al molde que le va dar forma al producto terminado, el mismo que representamos en la figura 2.3 siendo las funciones principales de la unidad de inyección son:

1. Homogenizar el compuesto
2. Dosificar el compuesto que se inyectara al molde
3. Inyectar la masa fundida en la cavidad del molde.

Esta parte de la maquina debe cumplir dichas funciones con la finalidad de establecer el mejor proceso de la maquina, controlando las variables como:

- Temperatura
- Presión
- Velocidad
- Tiempo

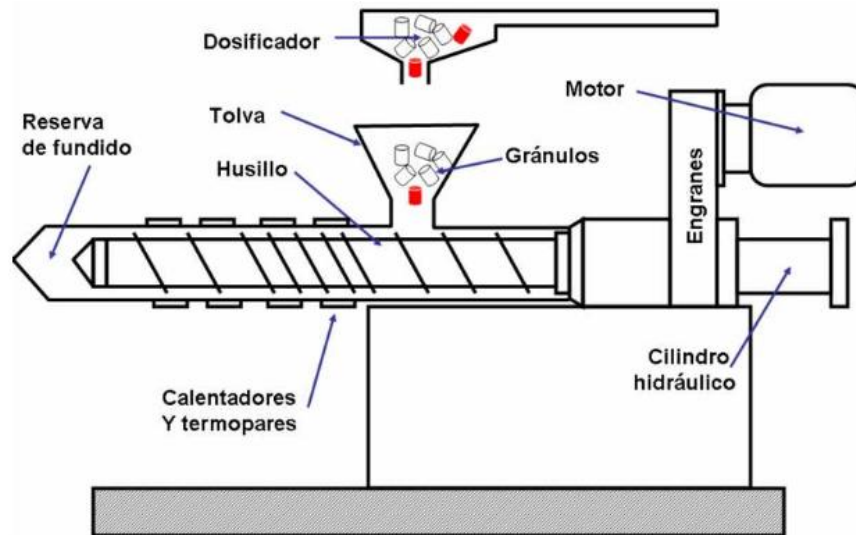


Fig. 2.3 Diseño genérico de unidad de inyección
 Fuente: http://lalibretadeisabella.blogspot.com/2012_06_01_archive.htm

2.3 UNIDAD DE CONTROL

Donde se realiza el control de la maquina y procesos, proporcionando controles como manual, semiautomático y automático; de todas las operaciones relacionadas con el moldeo por inyección. A su vez es capaz de controlar las variables de molde, de inyección, tipos de programación (tiempos opcionales, sistemas adicionales, secuencias de acuerdo a la necesidad), temperaturas (aceite, husillo, molde), conteo de producción, velocidades, presión, seguridad tanto como para el molde y operador de máquina. Este sistema básicamente contiene un controlador lógico programable (**PLC**) el mismo que puede ser modular o mainboard, los mismos que tienden a controlar señales digitales como analógicas, por medio de controladores **PID** para mantener un buen proceso de la maquina inyectora, el **PLC** permite programar la secuencia en lazo cerrado de la maquina del ciclo de inyección y recibe señales identificándolas como alarmas, finales de carrera o sobrepresión, para detener el ciclo según lo requiera. Los controladores **PID** son los más adecuados para poder mantener el control de temperatura debido a su elevada velocidad de respuesta para mantener la temperatura a los niveles requeridos.

Este sistema de control puede ser representado ante la maquina por medio de un **HDMI** el cual es la comunicación hombre – máquina; o a su vez como en maquinas ya deterioradas con un panel de control de mando, los mismos que ayudan a la maquina en el proceso para poder ingresar valores o modificar parámetros dependiendo el ajuste que se requiera a la máquina para poder llevar a cabo dicho proceso.

2.4 UNIDAD DE POTENCIA

Es el sistema que suministra la potencia necesaria para el funcionamiento de la unidad de inyección y de la unidad de cierre. Los principales tipos de sistemas de potencia pueden clasificarse como:

- Sistema de motor eléctrico con unidad reductora de engranajes.
- Sistemas de motor hidráulico con unidad reductora de engranajes.
- Sistema hidráulico directo.

2.5 SISTEMA DE POTENCIA ELÉCTRICO

El sistema eléctrico se utiliza generalmente en maquinas relativamente pequeñas. Este sistema se emplea tanto para el giro del tornillo como para la apertura y cierre de la prensa. La maquina emplea dos sistemas mecánicos de engranajes y palancas acodadas, uno para el cierre del molde y otro para el tornillo. Cada uno accionado por un motor eléctrico independiente. El accionamiento del tornillo cuando realiza la inyección lo ejecuta un cilindro hidráulico. En los sistemas con motor eléctrico, la velocidad puede ajustarse solo en un determinado número de valores, lo cual puede ocasionar problemas en la reproducción de parámetros de operación y dificultar la obtención de piezas con una calidad constante. Los motores eléctricos generan grandes torques de arranque, por lo que debe mantenerse precaución al usar tornillos con diámetros pequeños para evitar que se rompan, en la figura 2.4 hacemos referencia de un motor eléctrico trifásico.

2.6 SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICO

Los motores hidráulicos son los más comúnmente utilizados, su funcionamiento se basa en la transformación de la potencia hidráulica del fluido en potencia mecánica. A diferencia de los sistemas electromecánicos, donde la potencia es transmitida a través de engranajes y palancas, es un sistema con fluidos estos elementos se sustituyen, parcial o totalmente; por tuberías de conducción que llevan el fluido a presión a los pistones de inyección y de cierre del molde en la figura 2.5 hacemos referencia de un motor hidráulico de paletas.



Fig. 2.4 Motor eléctrico

Fuente: <http://www.nauticexpo.es/prod/quantum-marine-engineering/unidades-energia-hidraulica-barco-motor-electrico-23380-249492.html> (motor eléctrico - acoplado a bomba hidráulica).

Fig. 2.5 Motor Hidráulico

Fuente: http://www.google.com.ec/imgres?imgurl=http://www.hidraulicapractica.com/videos/difaireacioncavitacion_files/image380.jpg&imgrefurl

El fluido que más se utiliza es el aceite debido a sus propiedades lubricantes en aplicaciones que involucran grandes cargas. En los sistemas hidráulicos es común utilizar presiones que varían entre los 70 y 140 kg/cm². Las ventajas del motor hidráulico con respecto al eléctrico pueden resumirse principalmente en:

- Fácil variación de velocidades, regulando el volumen de fluido.

- La relación entre el torque y la velocidad es aproximadamente lineal. El límite de torque se determina por la presión limitadamente y el torque de arranque es aproximadamente igual al de funcionamiento.
- Permite arranques y paradas rápidos debido al pequeño momento de inercia.
- Permite relaciones bajas de peso potencia, lo que posibilita alcanzar altas velocidades de inyección del material.

El acoplamiento de estos dos motores es conocido comúnmente como matrimonio, que no es más que pequeño sistema mecánico que contiene un caucho para amortiguar el freno del motor eléctrico y bomba hidráulica, sincronizando su velocidad y el paro del mismo, ejerciendo la unión de uno al otro. De manera necesaria es tener un tipo de estos acoplamientos ya que así se mantiene un control mecánico de estas dos maquinas indispensables de este gran proceso. Así como lo representamos en la figura 2.6.



FIG. 2.6 Acoplamiento de rejilla Tipo Falk

Fuente:<http://www.megachainperu.com/acoplamiento-de-rejilla-tipo-falk.php>

Este mecanismo es de gran importancia que debería de tener las medidas necesarias y calculadas para el torque suficiente que se ejerce en ese sistema, para generar la presión y velocidad necesaria en nuestro sistema hidráulico.

Este tipo de acoplamiento ayuda a disminuir los cambios bruscos de presión (conocidos como **golpe de ariete**) que se generan en los sistemas.

2.7 GOLPE DE ARIETE

Se denomina golpe de ariete al choque violento que se produce sobre las paredes de un conducto forzado, cuando el movimiento líquido es modificado bruscamente. En otras palabras, el golpe de ariete se puede presentar en una tubería que conduzca un líquido hasta el tope, cuando se tiene un frenado o una aceleración en el flujo de dicho sistema; estos cambios bruscos generan daños permanentes en los equipos e actuadores hidráulicos de las maquinas inyectoras, también podemos evidenciar este tipo de efecto cuando no tenemos un verdadero control en nuestro sistema hidráulico.

2.8 BOMBAS HIDRAULICAS

En el sector industrial plástico podemos encontrar dos tipos de bombas de fluidos, las cuales tienen diferente tipo de comportamiento:

- Las de desplazamiento positivo
- Las de efecto centrifugo

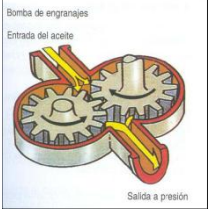
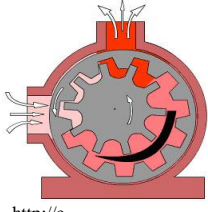

Nuestro sistema hidráulico trabaja con **las de desplazamiento positivo**, la misma que se basan en el funcionamiento de encerrar un volumen de líquido para transportarlo desde la aspiración hasta la impulsión con un aumento de la presión. La acción de bombeo se produce por la variación del volumen de las cámaras estancas con la rotación completa del conjunto. Hoy en día este tipo de válvulas son de mayor presión y de varios tipos de desplazamiento de líquido como:

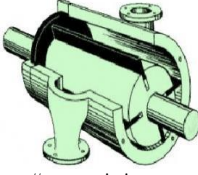
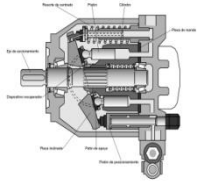
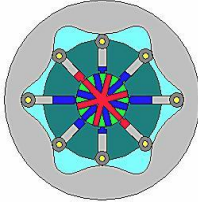
- Bomba de embolo recíproca
- Bomba de diafragma
- Bomba de diafragma con resorte
- Bomba de engranaje
 - Bomba de engranaje interno
 - Bomba de engranaje externo
- Bombas de paletas

- Bomba de cavidad progresiva y alta presión
- Bombas peristálticas
- Bombas de tornillos
- Bomba de pistón
- Bomba reciproca
- Bomba de leva o lóbulo
- Bombas axiales

Tabla 2.1:

Tipos y características de motores hidráulicos

BOMBAS	Tipos de Bombas	Margen de revoluciones (rpm)	Volumen (cm³)	Presión (bar)	Rendimiento
 <p>http://mecanicayautomocion.blogspot.com/2009/02/engrase-indice-introduccion-aceites.html</p>	Bombas de engranajes externos	500 – 3500	1.2 – 250	83 – 160	0.8 – 0.91
 <p>http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4918/html/42_rotativas_de_engranajes_internos.html</p>	Bombas de engranajes internos	500 – 3500	4 – 250	160 – 250	0.8 – 0.91
 <p>http://www.directindustry.es/prod/roper-pump/bombas-engranaje-helicoidal-31134-764355.html</p>	Bomba helicoidal	500 – 4000	4 – 630	25 – 160	0.7 – 0.84

 <p>http://www.quiminet.com/articulos/las-bombas-de-paletas-de-grafito-28521.htm</p>	<p>Bomba de aletas celulares</p>	<p>960 – 3000</p>	<p>5 – 160</p>	<p>100 – 160</p>	<p>0.8 – 0.93</p>
 <p>https://areamecnica.wordpress.com/2012/04/12/ingenieria-mecanica-bomba-de-caudal-variable-de-pistones-axiales/</p>	<p>Bomba de émbolos axiales</p>	<p>500 – 3000 750 – 3000 750 – 3000</p>	<p>100 25 – 800 25 – 800</p>	<p>200 160 – 250 160 – 320</p>	<p>0.8 – 0.92 0.82 – 0.92 0.8 – 0.92</p>
 <p>http://www.timken.com/es/products/coatings/engineered/Pages/ESinHydrostaticApplications.aspx</p>	<p>Bomba de émbolos radiales</p>	<p>960 – 3000</p>	<p>5 – 100</p>	<p>160 – 320</p>	<p>0.90</p>

Fuente: Autor (José Rivera)

Estas bombas hidráulicas generan el caudal y presión necesaria para que el sistema pueda trabajar en su totalidad, produciendo los movimientos necesarios en el mecanismo con presiones hasta 100 **BAR** o a su vez 4000 PSI, dependiendo el tonelaje que la maquina inyectora que la contenga.

Esta presión que genera la bomba al sistema hidráulico de la maquina inyectora pasa por la válvula proporcional, la misma que por su defecto es controlada por el controlador electrónico que esta válvula contenga, si es de ser así; el de mayor eficacia para tener un adecuado volumen de fluido en el sistema y poder sostener un equilibrio sin tener perturbaciones en el mismo, pues esto dependerá de un sensor de caudal o a su vez de presión, llamados transductores.

2.9 CICLO DE INYECCION

El ciclo de inyección es el control del tiempo y movimientos que se genera en dicha maquina, puesto que en él se podría identificar el rendimiento de la maquina, la eficiencia de la productividad y el comportamiento de la misma (defectos que se desarrolla dentro del ciclo automatizado).

Las maquinas inyectoras efectúan movimientos controlados por:

1. Posición
2. Tiempo
3. Registro (sensor)

2.10 TIEMPOS DE CICLO

- a) **Tiempo de cierre de molde;** Es el que actúa el sistema de cierre, cerrando el molde.
- b) **Tiempo de avance de la Unidad Inyección;** Este procede en el ciclo automático después de tener lista la carga (posición que digna **set-point**), temperatura de husillo (lo que se establece en el **set-point**) y cuando cierre la prensa esta debe llegar donde se establezcan las protecciones y registre la posición **0 mm**.
- c) **Tiempo de llenado o de inyección;** obteniendo en el ciclo la posición de carga deseada y las condiciones anteriores concretadas, este procede a inyectar el polímero empleado para el molde, puesto que con la velocidad y presión deseada, ya que de este depende el producto terminado.
- d) **Tiempo de compactación;** es el tiempo en el que se encuentra el tornillo sin fin adelante con la finalidad de mantener el material adelante presionado y se forme le producto en el molde, en este tiempo es el que se forma el polímero en el molde, llenando la cavidad en el tiempo menor posible para que se cumpla el ciclo.

- e) **Tiempo de carga;** este empieza después que la pieza se encuentre compactada (tiempo de compactación), empieza a generar movimiento rotatorio el tornillo sin fin para poder acumular el material hacia adelante con la finalidad de poder plastificar la carga suficiente para poder cumplir el siguiente ciclo.
- f) **Tiempo de enfriamiento;** este inicia a contar cuando inicia el tiempo de carga y se establece después de cumplirse el tiempo de carga (tiempo de carga < tiempo enfriamiento). De este depende la formación del producto a producir.
- g) **Tiempo de apertura de molde;** después de cumplir el tiempo de enfriamiento se abre el molde para seguir el siguiente paso a continuación.
- h) **Tiempo de extracción de la pieza;** donde se desmolda el producto o se retira el producto de las cavidades del molde.
- i) **Tiempo de molde abierto;** necesario si es de colocar otros tipos de elementos como insertos, pero este es el reinicio del siguiente ciclo.

En la siguiente figura 2.7 se demostrara de manera grafica los tiempos del ciclo de la maquina inyectora; donde muestra el comportamiento de la máquina de manera cíclica y automática; así podemos identificar de manera rápida e espontanea de cómo se comporta el ciclo cerrado de la maquina y donde se efectuaría en ese entonces cualquier problema, ya que este grafico demuestra donde podría llegar el proceso o donde se encuentra sus falencia dependiendo el caso.



Fig. 2.7 Tiempo de ciclo de inyección en una maquina convencional
Fuente: <http://iq.ua.es/TPO/Tema5.pdf> pag 15

2.11 TRANSDUCTORES DE VELOCIDAD

Una de las mediciones más importantes en las aplicaciones industriales es la de la velocidad angular. Esto se realiza mediante los tacómetros, que pueden ser mecánicos o eléctricos.

También se puede medir velocidad mediante medidores de velocidad por impulsos y sistemas ópticos. Siendo los transductores mecánicos los más conocidos como:

- Tacómetro centrífugo (consta de dos bolas a mayor velocidad se alejan del eje)
- Contador de revoluciones (tornillo sin fin mide la velocidad)

Para puesto así, tendremos también en consideración los tacómetros eléctricos que son más empleados en medios industriales:

- Tacodinámicos o dinamos tacométricas (proporcionan una señal de corriente continua)
- Medidores de señal por impulsos y sistemas ópticos

2.12 TRANSDUCTORES DE PRESION

También son reconocidos por su trabajo y precisión, relevantes a la señal registrada; reconocidos como según su medición de presión como:

- 1. De manera directa**
 - a. Manómetro de tubo en U
- 2. De manera indirecta**
 - a. Tubo Bourdon
 - b. Espiral y en Hélice
 - c. Diafragma
 - d. Fuelle

2.13 TRANSDUCTORES DE PRESIÓN ELECTROMECAÑICOS

Son los más utilizados en el medio industrial plástico, ya que con ellos pueden censar la presión del sistema enviando una señal eléctrica comparable al fluido que controla la válvula proporcional, siendo este controlado por un controlador el mismo que debe estar en un PLC o SISTEMA DE CONTROL que sea necesario.

Utilizan elementos mecánico elástico (Bourdon, espiral, fuelle, etc.) combinado con una transductor eléctrico que se encarga de generar la señal correspondiente.

2.14 TRANSDUCTORES GALGAS EXTENSIOMETRICAS

Estos se basan en la variación de longitud y diámetro (y, por lo tanto, de resistencia) que tiene lugar en un hilo de conductor o semiconductor al ser sometido a un esfuerzo mecánico como consecuencia de presión (efecto piezoeléctrico). En general el valor de la resistencia cumple la expresión.

2.15 TRANSDUCTORES PIEZOELÉCTRICOS

El efecto piezoeléctrico consiste en la aparición de cargas eléctricas en determinadas zonas de una lámina cristalina de algunos materiales siguiendo ciertos ejes, en respuesta

a la aplicación de una presión. El cristal se coloca entre dos láminas metálicas que recogen las cargas eléctricas, siendo posible de esta forma medir las variaciones de presión, tal y cual mostramos en la siguiente figura 2.8.

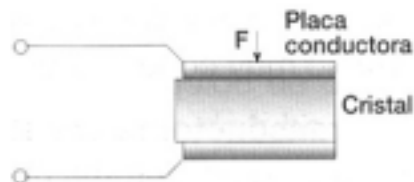


Fig. 2.8 transductor piezoeléctrico

Fuente:http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~23005153/d_tecnologia/bajables/2%20bachillerato/TRANSDUCTORES,%20SENSORES%20Y%20CAPTADORES.pdf pag 10

2.16 TRANSDUCTORES RESISTIVOS

La presión desplaza un cursor a lo largo de una resistencia a modo de potenciómetro cuyo valor se modifica proporcionalmente a la presión aplicada; según representamos en la siguiente figura 2.9, el cual nos da a conocer de manera grafica este tipo de transductor.

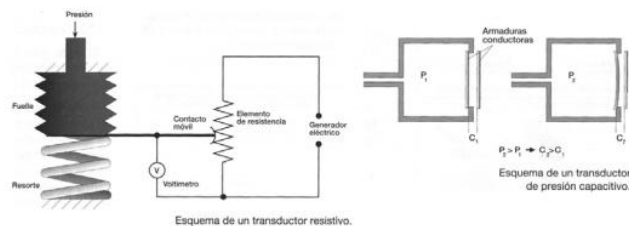


Fig. 2.9 transductores resistivos

Fuente:http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~23005153/d_tecnologia/bajables/2%20bachillerato/TRANSDUCTORES,%20SENSORES%20Y%20CAPTADORES.pdf pag 10

2.17 TRANSDUCTORES DE PRESION INTELIGENTES

Este tipo de transductor le es incorporado un microprocesador el cual mejora su señal y su estabilidad en el sistema, teniendo como principal característica:

- Mejora de sensibilidad
- Incremento del rango de medida
- Compensación de histéresis
- Linealidad en menor tiempo deseado
- Corrección para los cambios de temperaturas y presión.

Algunos de los transductores de presión basados en microprocesadores hacen uso de técnicas novedosas de medidas de desplazamiento. Así como representamos en la figura 2.10 el comportamiento de dicho transductor.

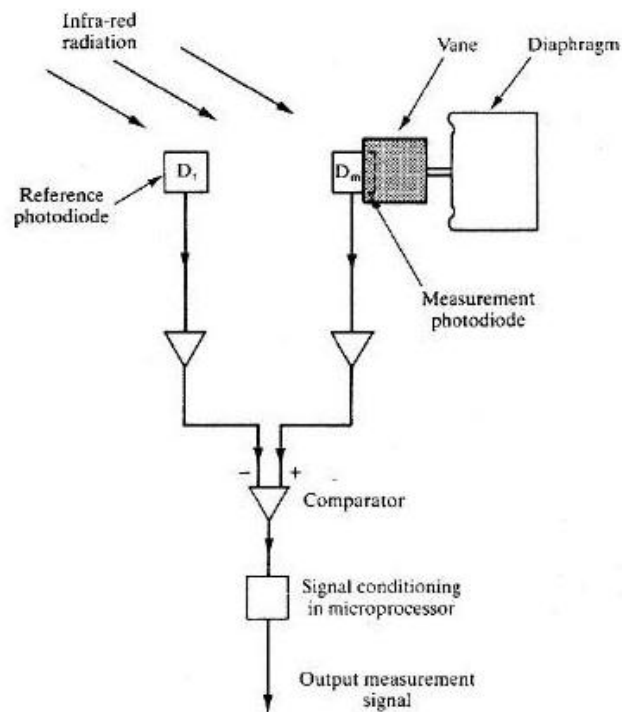


Fig. 2.10 Transductor de presión inteligente (con microprocesador)

Fuente: <http://www2.uca.es/grup->

[invest/instrument_electro/ppjjgdr/Electronics_Instrum/Electronics_Instrum_Files/temas/T17_Pressure.PD](http://www2.uca.es/grup-invest/instrument_electro/ppjjgdr/Electronics_Instrum/Electronics_Instrum_Files/temas/T17_Pressure.PD)

E pag 13

El movimiento se transmite a una pantalla que progresivamente oculta uno de los dos fotodiodos monolíticos que están expuestos a la radiación infrarroja. El segundo fotodiodo actúa como referencia permitiendo al microprocesador calcular una relación

de señal que es linealizada y está disponible como medida analógica o digital de presión. La precisión típica de la medida es de $\pm 0.1\%$.

2.18 LVDT

Transformador diferencial variable lineal es un dispositivo de censado de posición que provee un voltaje de salida de CA proporcional al desplazamiento de su núcleo que pasa a través de sus arrollamientos. Idéntico a cualquier otro transformador consta de dos bobinados uno primario y otro secundario compuesto de un núcleo magnético, ingresando por el bobinado primario una señal o corriente alterna, conocida como señal portadora; produciendo un campo magnético variable alrededor del núcleo induciendo un voltaje alterno (CA) en el bobinado secundario que está cerca del núcleo.

El LVDT indica la dirección de desplazamiento del embolo interno de la válvula debido a que las salidas de los dos bobinados secundarios se encuentran balanceadas mutuamente, conectados en sentidos opuestos, así cuando el campo magnético variable se aplica a ambos bobinados secundarios, sus voltajes de salidas tienen igual amplitud pero diferentes signos.

Las salidas de los dos bobinados secundarios se suman, simplemente conectando los bobinados secundarios a un punto común centro.

A una posición de equilibrio (generalmente cero desplazamiento) se produce una señal igual a cero.

La señal reducida de CA es entonces desmodulada para producir un voltaje de CC que sea sensible a la amplitud y a la fase de la señal de CA producida.

En la siguiente figura 2.11 mostraremos la relación de la señal de entrada del bobinado primario, el núcleo magnético y la señal de salida:

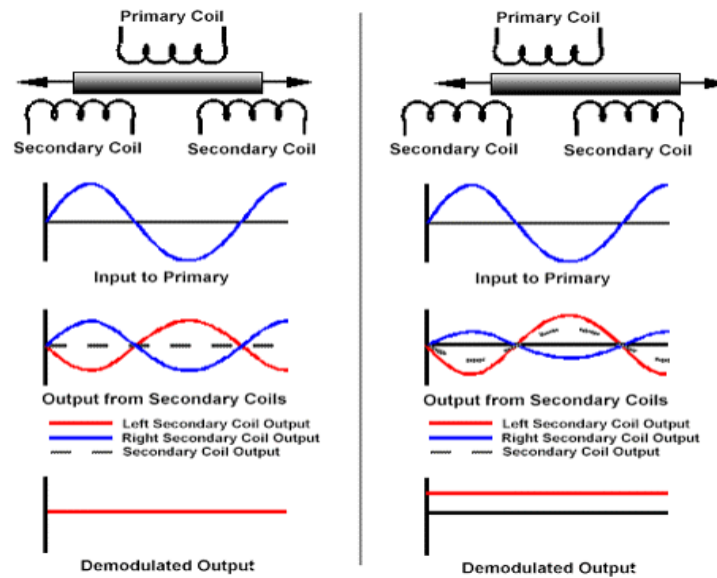


Fig. 2.11 LVDT con carga

Fuente: <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/LVDT/lvdt.pdf> pag 2

El LVDT provee una relación lineal entre el desplazamiento y el voltaje, mientras el núcleo se expone a todas las espiras del bobinado primario, como en la figura 2.12.

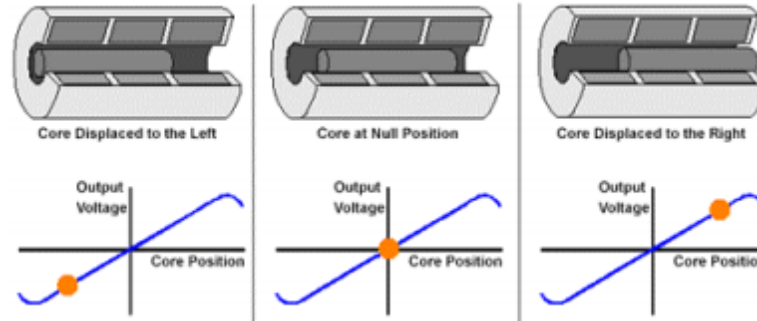


Fig. 2.12 Comportamiento del LVDT sometido a carga

Fuente: <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/LVDT/lvdt.pdf> pag 2

2.19 DEMODULADOR DE PORTADORA

El demodulador sensible a la fase es un convertidor AC/DC que produce una tensión DC (típicamente entre 0 y 10 Volts) proporcional a la magnitud de salida del LVDT y sensible a la fase de la señal de salida relativa a la señal (portadora) de entrada. Cuando el núcleo es desplazado hacia a lado del primario, la salida del LVDT está en fase con la entrada y el demodulador produce una señal positiva. Cuando el núcleo es desplazado hacia otro lado, la salida del LVDT estará desfasada 180 grados respecto a la señal del

primario. La salida del demodulador es entonces una tensión negativa proporcional al desplazamiento. Tal se muestra en la figura 2.13.

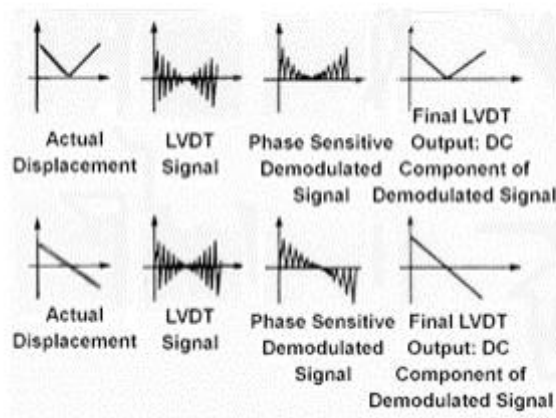


Fig. 2.13 Comportamiento de demodulador del LVDT

Fuente: <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/LVDT/lvdt.pdf> pag 3

Los sensores de posición lineal LVDT están fácilmente disponibles para medir movimientos de unas pocas millonésimas partes de pulgada hasta varias pulgadas, pero así también son capaces de medir posiciones de hasta ± 20 pulgadas.

De esta manera presentamos la siguiente figura 2.14 de cómo está formada la estructura interna del LVDT.

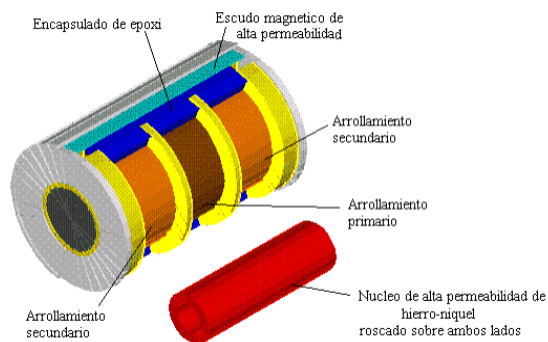


Fig. 2.14 Núcleo LVDT y su composición

Fuente: <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/LVDT/lvdt.pdf> pag#3

2.20 SOPORTE ELECTRÓNICO

Aunque un LVDT es un transformador eléctrico, requiere potencia de corriente alterna de amplitud y frecuencia completamente diferente de las líneas ordinarias para operar apropiadamente, típicamente 3V (RMS) a 2,5 KHz. Suministrar la excitación para un LVDT es una de las funciones del soporte electrónico el cual es a veces conocido como equipo de acondicionamiento de señal para LVDT. Otra función incluye convertir la señal de tensión alterna de bajo nivel en una señal DC de alto nivel, que es el más conveniente para usar, decodificando la información direccional de 180 grados de desfase de salida con movimiento del núcleo a través del punto nulo, y proporcionando un nivel de salida con cero ajustable eléctricamente, en la actualidad existe una alta variedad de acondicionadores electrónicos incluyendo productos a nivel chip y nivel placa para aplicaciones OEM así como módulos e instrumento de laboratorios completos y listos para usar.

De esta manera demostraremos en función de bloques del LVDT en la siguiente figura 2.15.

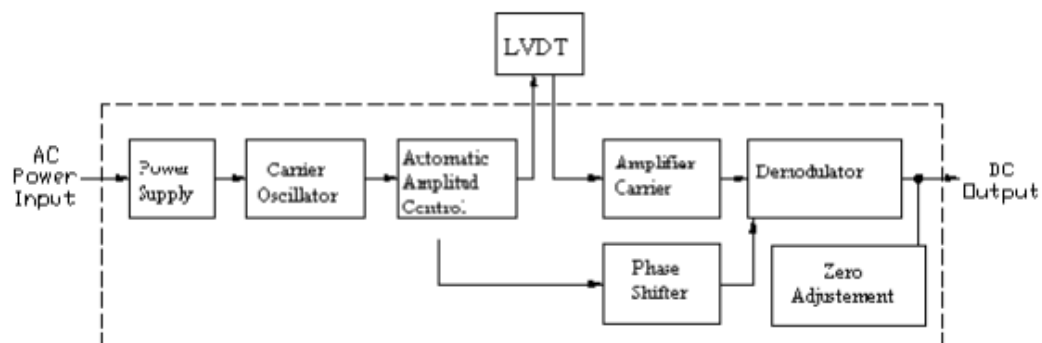


Fig. 2.15 LVDT con acondicionadores

Fuente: <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/LVDT/lvdt.pdf> pag 6

2.21 VALVULAS PROPORCIONALES

En hidráulica, la velocidad y presión de un actuador se controla al regular el volumen de aceite que entra y sale de este. Esto se puede lograr utilizando, entre otras cosas, una

válvula de control de flujo convencional o una válvula de control direccional proporcional:

2.22 LA VÁLVULA DE CONTROL DE FLUJO MECÁNICA

Estas válvulas de control de flujo son aquellas que se obstruyen de manera manual, controlando un flujo el cual es constante, no es necesario control automático, el mismo que se obstruye por medio de una perilla o manija, muy parecida a las válvulas convencionales de fluido líquido domiciliario (agua).

De este tipo de válvula son muy utilizadas en los sistemas hidráulicos, pero no son tan precisas y la regulación manual genera ya en su tiempo de uso gran desgaste que podría generar un desbalance en el sistema, no son recomendables para los sistemas de lazo cerrado, pero de gran uso para pequeñas aplicaciones.

En la siguiente figura 2.16 mostraremos un tipo de válvula analógica.



Fig. 2.16 Estructura de válvula de control de flujo, mecánica.

Fuente: <http://photos1.blogger.com/x/blogger2/3413/4505/1600/144734/Control%20Valve.jpg>

2.23 LA VÁLVULA DE CONTROL DE FLUJO

Es resistente, de construcción simple y relativamente barata. Sin embargo, el utilizar este tipo de válvula se tienen varias desventajas:

- El ajuste de la perilla de la válvula se debe reajustar cada vez que se desea una nueva velocidad del actuador.
- En aplicaciones que requieren que la velocidad del actuador cambie en ciertos momentos del ciclo, se deben utilizar varias válvulas de control de flujo, lo cual complica el circuito y aumenta el número de ajustes necesarios.
- Una válvula de control de flujo no puede controlar la dirección de movimiento del actuador. Por tanto, se debe adicionar al circuito una válvula de control direccional para controlar la dirección; ya que estas son reconocidas como de encendido y apagado (**I/O**); el sistema puede estar sujeto a choques causados por el cierre o la abertura repentina de la válvula direccional o por el impacto de la carga en el actuador. Estos choques pueden generar serios daños a la válvula, bomba, actuador o la tubería.

2.24 VALVULA DE CONTROL DIRECCIONAL PROPORCIONAL

La válvula proporcional es una variable del solenoide de conmutación. La corriente eléctrica atraviesa la bobina del solenoide y géneros magnético de campo. El campo desarrolla una fuerza dirigida hacia la derecha de la armadura.

De forma parecida al solenoide de conmutación, la armadura y el núcleo del solenoide proporcional están hechos fácilmente de materiales de magnetizable. En comparación con la solenoide de conmutación, controla la presión del sistema en base de la proporcionalidad del incremento de una señal electrónica, la misma que es impulsada por un PWM o alimentación tarjeta proporcional, como en ciertos casos se las encuentran internas en los PLC; basada en un cono de control el mismo que por el incremento de la señal genera el movimiento necesario para poder dar paso a cierta cantidad de fluido al cual este controlando.

Con dicho diseño correcto de las piezas de baja magnetización y del cono de control, mantiene las respectivas características:

- La fuerza crece en proporción a la señal ingresada por el circuito de alimentación.
- La fuerza no depende de la posición de la armadura dentro de la zona operacional del solenoide proporcional.
- Controla presión, velocidad o posición dependiendo el caso que sea requerida y el control a la que está sujeta.
- El consumo de corriente es mínimo y control es exacto.
- Pueden ser usadas en varios ámbitos como en sistemas hidráulicos, neumáticos, sistemas a gas, etc...

La construcción de las válvulas de control direccional proporcional puede variar levemente de un fabricante a otro. Sin embargo, las válvulas de control direccional proporcional se conforman por lo general en las siguientes partes común: un circuito electrónico, un mecanismo del carrete y resortes de centrado.

En la siguiente figura mostraremos la construcción de una válvula direccional con control proporcional suministrada con su equipo didáctico de hidráulica. La cual se muestra una **motor de fuerza lineal** de imán permanente que maneja directamente el carrete de la válvula. El carrete el cual es de tipo **centro cerrado bloqueado** tiene extremos de control en forma V que se abren gradualmente permitiendo el control exacto del caudal. Un voltaje de control **-10 y +10 V** se aplica al circuito electrónico dentro de la válvula para controlar el carrete de la válvula y así la abertura de la misma. Un **LVDT** se sujeta al carrete de la válvula para proporcionar una realimentación de la posición del carrete; tal y cual mostraremos en la figura 2.17.

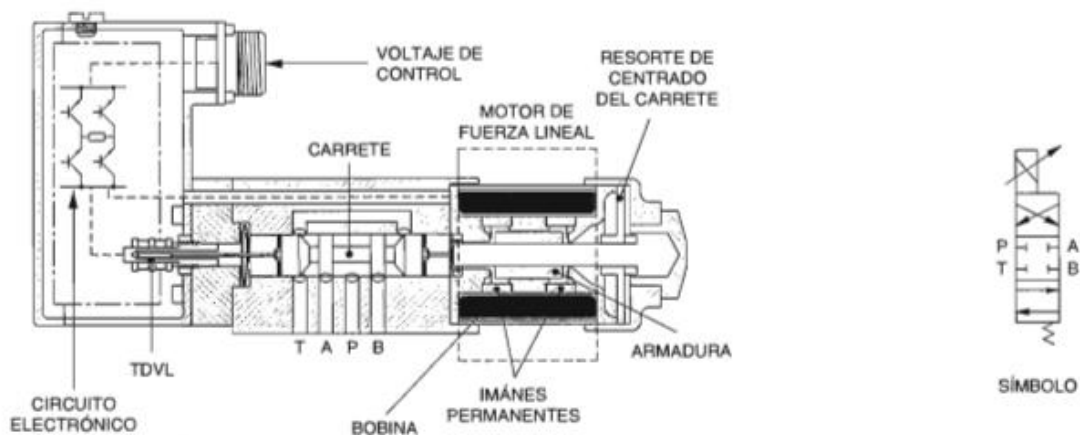


Fig. 2.17 Válvula de control direccional proporcional con una solenoide
 Fuente: Libro – Aplicaciones Hidráulicas Control servo proporcional
<http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/ManualesIng/AppdeHidracontoServoP-O.pdf> pag 15

También hay válvulas que incorporan un sensor de posición del núcleo (LVDT), que permite realimentar el amplificador de control de la válvula con la posición exacta del núcleo del solenoide, permitiendo el control en circuito cerrado.

El detalle de la operación de esta válvula proporcional es la siguiente:

- El **circuito electrónico** convierte el voltaje de control en una corriente utilizada para accionar el motor de fuerza lineal.
- El **motor de fuerza lineal** mueve el carrete según la polaridad y el nivel del voltaje de control. La **polaridad** de voltaje de control, la cual es positiva (+) o negativa (-), determina cuando el carrete se mueve en la posición de flechas derechas o la posición de flechas cruzadas. El **nivel** del voltaje de control determina la distancia por donde se mueve el carrete:
 - Cuando se aplica un voltaje de control **positivo** a la válvula, el circuito electrónico hace que fluya una corriente proporcional a través de la bobina del motor, creando un campo magnético alrededor de la bobina, moviendo al carrete a la izquierda, comprimiendo el resorte de centrado del carrete, conecta el puerto P al puerto A y el puerto T al puerto B; lo

cual es la condición de **flechas derechas**. La distancia que recorre el carrete cuando ha sido movido a la izquierda es directamente proporcional a la corriente y por tanto al voltaje de control. Entre mayor sea el voltaje de control el carrete se moverá lo más lejos hacia la izquierda, a la posición completamente abierta.

- Cuando se aplica un voltaje de control **negativo** a la válvula, el circuito electrónico hace que la corriente a través de la bobina del motor cambie de dirección, esto invierte la dirección del campo magnético alrededor de la bobina, comprime el resorte y cruzando los puertos del P al puerto B y el puerto T al puerto A, lo cual es la condición de **flechas cruzadas** entre mayor sea el voltaje de control el carrete se moverá lo más lejos hacia la derecha, a la posición completamente abierta.
 - Si se quita el voltaje de control o se coloca en 0 V, el resorte de centrado volverá automáticamente el carrete a la posición central bloqueando todos los puertos de la válvula.
- El **LVDT**, o transformador diferencial de variable lineal produce un voltaje proporcional a la posición del carrete. Este voltaje se realimenta al circuito electrónico y se compara con el voltaje de control. Si el voltaje no es igual, el circuito electrónico hará que la corriente fluya a través de la bobina del motor para corregir la posición del carrete hasta que esta corresponda a la posición deseada. De esta manera el LVDT proporciona un control interno de lazo cerrado de la posición del carrete.

Las válvulas proporcionales que tienen incorporado LVDT se utilizan en aplicaciones donde la posición del carrete debe corresponder con exactitud al voltaje de control. Sin embargo, también están disponibles los modelos que no tienen un LVDT para aplicaciones donde el error de la posición no es tan importante, tales como cuando el operador está siguiendo visualmente el movimiento del actuador.

Para la siguiente figura mostraremos una válvula de control direccional proporcional que utiliza dos solenoides proporcionales para el accionamiento de su carrete. Cuando el voltaje de control es positivo, el solenoide A se energiza y el carrete se mueve a una distancia proporcional a la derecha, la cual es la posición de flechas derechas. Cuando el voltaje de control es negativo, el solenoide B se energiza y el carrete se mueve una distancia proporcional a la izquierda, la cual es la posición de flechas cruzadas. Cuando el voltaje automáticamente el carrete a su posición central, bloqueando todos los puertos de la válvula, así como mostraremos en la siguiente figura 2.18.

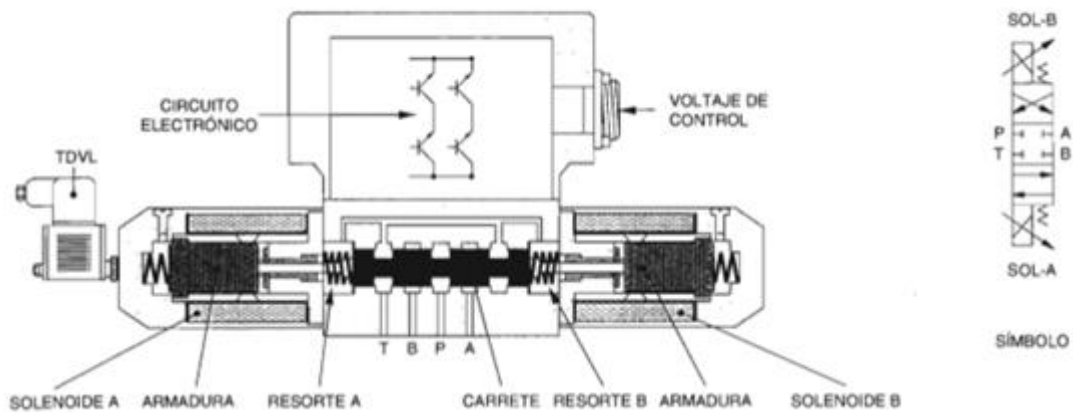


Fig. 2.18 Válvula de control direccional proporcional con dos solenoides
Fuente: Libro – Aplicaciones Hidráulicas Control servo proporcional pdf pag 17

2.25 CARACTERÍSTICAS DE LA VÁLVULA DE CONTROL DIRECCIONAL PROPORCIONAL

Es más costosa que la válvula de control de flujo y esta requiere de una señal eléctrica para su control. Sin embargo, esto elimina los problemas relacionados con la válvula de control de flujo:

- La válvula de control direccional proporcional permite un control simultáneo tanto de la velocidad del actuador como de la dirección, utilizando una sola válvula.

- La velocidad del actuador y la dirección se puede cambiar cualquier momento del ciclo simplemente modificando el nivel y la polaridad de la señal de control eléctrica, lo cual se puede realizar automáticamente por medio de un circuito de control remoto.
- La señal de control eléctrica se puede volver una rampa para mover suavemente el carrete de la válvula de control direccional y suprimir los choques de presión hidráulica; como se muestra en la siguiente figura 2.19.

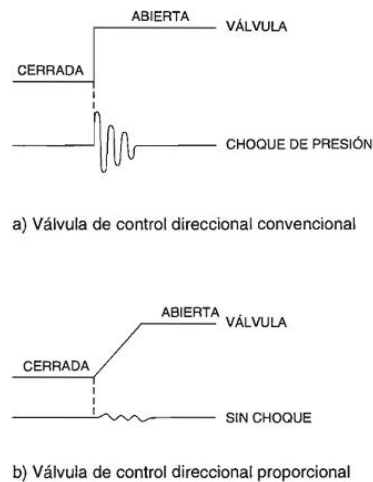


Fig. 2.19 Comportamiento y diferencia de repuesta de válvula convencional vs válvula proporcional.
Fuente: Libro – Aplicaciones Hidráulicas Control servo proporcional_ pdf pag 14

2.26 VALVULA PROPORCIONAL OPERADAS DIRECTAMENTE Y POR PILOTO

Las figuras anteriores mostraron dos válvulas las cuales son **operadas directamente** debido a que su mecanismo de accionamiento actúa **directamente** sobre el carrete para proporcionar el caudal deseado. Cuando los índices de presión o caudal aumentan, la fuerza necesaria para moverse el carrete aumenta. Como resultado, las válvulas proporcionales operadas directamente tienen un límite de factibilidad el cual está alrededor de 75 l/min (20 gal/min). Para caudales mayores, se deben utilizar proporcionales **operadas por piloto**.

La siguiente figura 2.20 mostrara una válvula de solenoide proporcional operada por piloto. Un carrete **piloto** genera una fuerza **hidráulica** utilizada para el accionamiento de su carrete principal, permitiendo que se puedan controlar caudales mayores. Cuando por ejemplo, el solenoide A se energiza el carrete piloto se mueve a la derecha dirigiendo aceite pilotado a la derecha del carrete principal. Esto mueve el carrete principal a la izquierda a una distancia proporcional a la presión del aceite piloto.

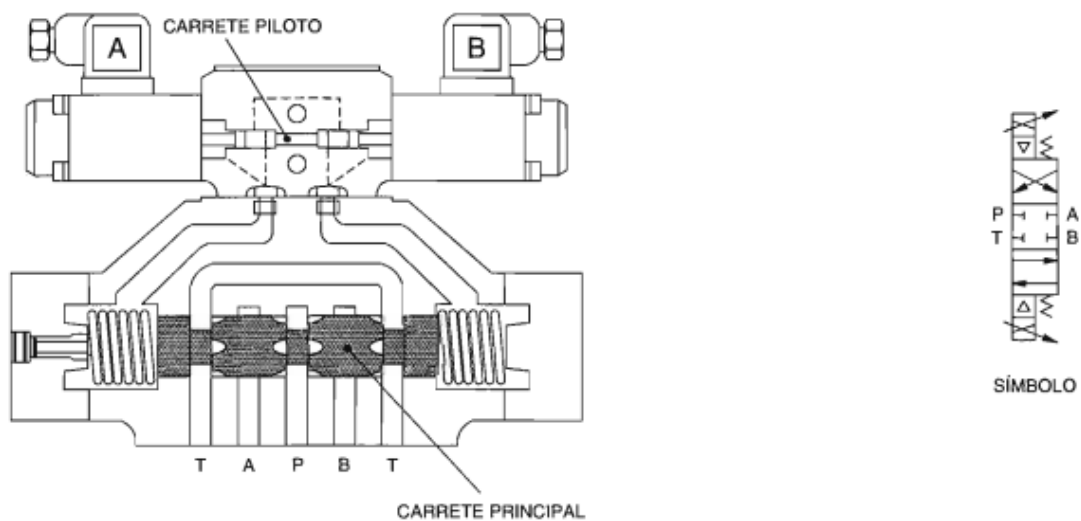


Fig. 2.20 Válvula de control direccional proporcional con válvula mecánica piloto
Fuente: Libro – Aplicaciones Hidráulicas Control servo proporcional.pdf pag 18

La válvula ilustrada en la figura 2.20 tiene dos etapas, las cuales son etapas piloto y la etapa principal. Sin embargo, también están disponibles válvulas proporcionales operadas por piloto con tres etapas para aplicaciones de muy alto caudal.

2.27 CURVA DE CAUDAL/VOLTAJE DE UNA VÁLVULA DE CONTROL DIRECCIONAL PROPORCIONAL

La curva de caudal/voltaje de una válvula proporcional se obtiene variando el voltaje de control de la válvula y midiendo el caudal de salida en el puerto T de la calcula, con los puertos A y B conectados entre sí, el cual mostraremos en la siguiente figura.

Cuando se registran las mediciones de caudal, es importante que se mantenga constante la caída de presión ΔP o lo largo de la válvula debido a que el caudal a través de la calcula aumenta no solo con un aumento en el voltaje de control sino también con una aumento en la caída de presión/caudal a lo largo de la válvula, así como mostraremos en la figura 2.21.

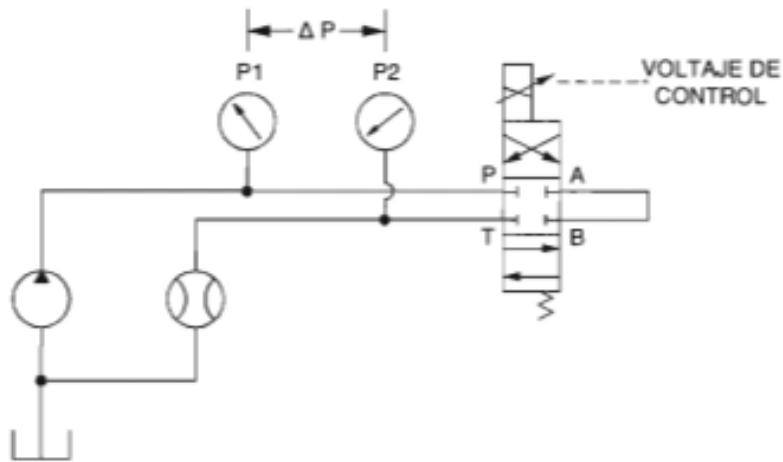


Fig. 2.21 Esquema comportamiento hidráulico de la válvula direccional proporcional
Fuente: Libro – Aplicaciones Hidráulicas Control servo proporcional.pdf pag 19

El cual aplicara un cambio en el sistema hidráulico dependiendo del voltaje aplicado en la solenoide, registrando una curva ideal caudal/voltaje de una válvula proporcional, la curva es en realidad una línea derecha que indica que el caudal es directamente proporcional de manera lineal al voltaje de control. La zona plana cerca del área de 0-V de la curva se denomina **banda muerta**. Con la banda muerta, el caudal permanece nulo aun cuando cambien el voltaje de control. Esto significa que se debe aplicar un voltaje de control mínimo antes que la válvula en realidad se comience a abrir, así como mostraremos la figura 2.22.

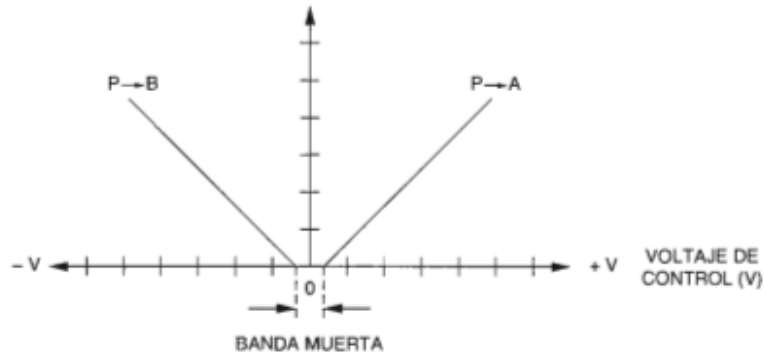


Fig. 2.22 Curva ideal caudal/voltaje de una válvula proporcional
 Fuente: Libro – Aplicaciones Hidráulicas Control servo proporcional.pdf pag 19

La banda muerta que mostraremos en la siguiente figura 2.23 se produce por el hecho que el surco del carrete de la válvula es ligeramente más ancho que las acanaladuras del cuerpo. Esta condición, denominada carrete traslapado, se necesita para tener todos los puertos bloqueados cuando el carrete está centrado.

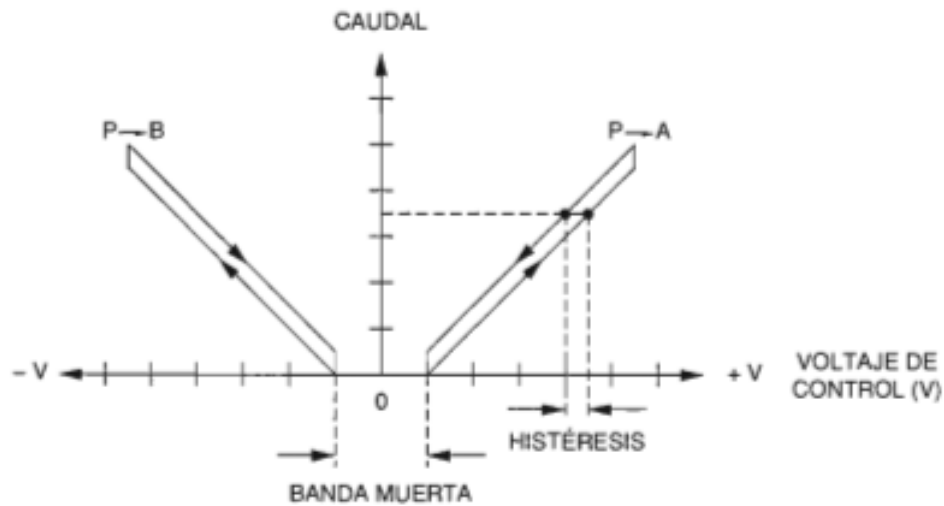


Fig. 2.23 Curva real de una válvula proporcional
 Fuente: Libro – Aplicaciones Hidráulicas Control servo proporcional pdf pag 19

En esta grafica podemos demostrar la curva real caudal/voltaje de una válvula proporcional. Esta curva difiere realmente de la anterior ya que esta tiene una banda muerta más ancha, como también presenta **histéresis**. Siendo la histéresis la diferencia

en el voltaje de control requerido para obtener un caudal dado cuando el carrete de la válvula se mueve en una dirección y luego en otra dirección. La **histéresis** se debe principalmente a la fricción del carrete, a los defectos de magnetización y a la contaminación del aceite. La histéresis se puede reducir significativamente con un LVDT.

2.28 VALVULAS LIMITADORAS DE PRESION PROPORCIONAL

Estas válvulas limitadoras de presión consisten en una etapa previa con una válvula de asiento y una etapa principal con una corredera de control. La presión en la conexión **P** actúa sobre el cono de control del pilotaje a través del agujero en la corredera de control. Tal como muestra la figura 2.24.

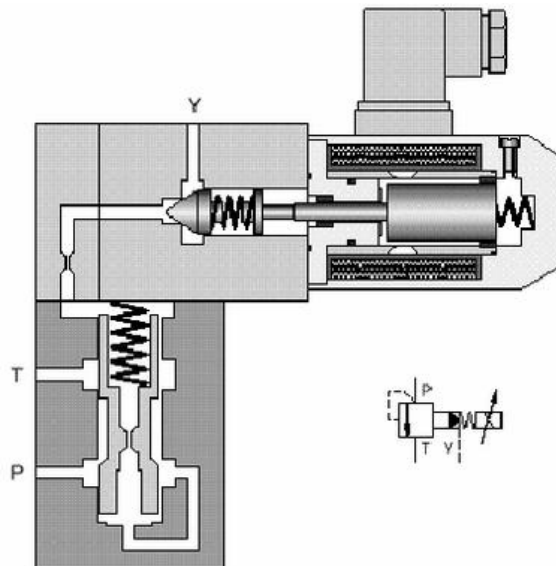


Fig. 2.24 Válvula limitadora de presión Proporcional

Fuente: <https://es.scribd.com/doc/103194179/FESTO-Manual-de-Hidraulica-Proporcional> pag 8

El solenoide proporcional ejerce una contrafuerza regulada eléctricamente. La etapa preliminar permanece cerrada, si la fuerza del solenoide proporcional es mayor que la fuerza producida por la presión en la conexión **P**. El muelle sostiene la corredera de control de la etapa principal en la posición baja, el caudal es cero.

Si la fuerza ejercida por la presión sobrepasa la fuerza de cierre del cono del pilotaje de control, este se abre. Un pequeño caudal regresa al depósito desde la conexión **P** a través de **Y**. Este caudal provoca una caída de presión a través de la corredera de control, por lo cual la presión en la parte superior de la corredera de control queda por debajo de la presión en la parte superior. La presión diferencial produce una fuerza resultante. La corredera de control se desplaza hacia arriba hasta que el muelle antagonista compense esta fuerza. El borde de control de la etapa principal se abre de forma que **P** y **T** quedan conectados. La presión del fluido se descarga al depósito.

2.29 AJUSTE DE ANULACIÓN

Las mayoría de la válvula de control direccional proporcional tienen un tornillo de ajuste de anulación que se puede utilizar para compensar una desviación de la carga cuando el voltaje de control es nulo. La anulación se ajusta levemente fuera del centro verdadero con el fin de proporcionar mayor presión en un extremo del actuador y evitar cualquier movimiento de la carga. Los cambios de temperatura, los cambios de presión/caudal y la edad de la válvula pueden causar que la anulación se desvíe levemente, así que se necesita volver a ajustar la anulación para mantener la carga estacionaria.

2.30 FILTRADO

Para que una válvula de control direccional proporcional tenga una operación constante y alta confiabilidad, es importante tener un buen filtro de aceite en todo el sistema hidráulico. Las válvulas de control direccional proporcional a menudo vienen con un pequeño filtro incorporado que realiza un filtrado burdo de aceite que va a su carrete piloto. Es muy importante instalar un filtro adicional de alta presión, corriente arriba de la válvula, particularmente en los sistemas que operan a altas presiones y a ciclos de altas velocidades. De no hacer esto, puede resultar en el deterioro gradual del funcionamiento de la válvula.

2.31 CONTROL CONTINUO

LUIS CUSMAN (2013) informa que el control continuo en hidráulica es el estudio de las tecnologías de control de las válvulas proporcionales y de las servo válvulas, este estudio de válvulas proporcionales y sus elementos eléctricos y electrónicos es total importancia para el sector industrial, ya que este tipo de válvula se puede encontrar en varios procesos los cuales son un alto margen de porcentaje de productividad.

Las características fundamentales del control proporcional son:

- Las válvulas proporcionales son válvulas continuas. Su solenoide puede ubicar a la válvula de infinitas posiciones entre dos posiciones extremas.
- El elemento de mando es a través de un potenciómetro: **Set Point**.
- La energía de alimentación al solenoide es corriente **I**.
- El elemento de potencia es una tarjeta de control proporcional.

Su comportamiento según el esquema y los diagramas de la figura 2.25 serian:

a) Diagrama de Velocidades

Al accionar el pulsador **S1**, el cilindro hidráulico iniciara su movimiento en forma acelerada desde una velocidad cero hasta alcanzar una velocidad **v1**. Cuando el pistón toca el límite de carrera **S2** comienza a desacelerar hasta alcanzar una velocidad pequeña, de tal manera que al tocar el límite de carrera **S2** se detiene manteniéndose en esta condición durante un tiempo en forma temporizada. El retorno se dará a través de un movimiento acelerado hasta alcanzar la velocidad **v2**. Luego cuando llegue al final de carrera se detendrá instantáneamente.

b) Plano Eléctrico

Tiene un circuito de control y uno de potencia. El circuito de control formado por dos potenciómetros los que enviaran (solo uno a la vez) señales entre **0** y \pm **10 VDC**. El circuito de control de los relés trabaja comúnmente a **24 VDC**. El circuito de potencia

envía corriente en el rango de **0 a 2000 mA**. El relé **K1** energiza el potenciómetro **A1** el que establece el nivel de velocidad **v1** de salida del pistón. El relé **K3** activa al potenciómetro **V1** el que establece la aceleración o rampa desde cero hasta alcanzar la velocidad **v1**, igualmente **v1** establece la desaceleración desde la velocidad **v1** hasta alcanzar una mínima velocidad.

El relé **K2** energiza el potenciómetro **A2** el que establece el nivel de velocidad **V2** de entrada del pistón. El potenciómetro **v1** establece la aceleración o rampa desde cero hasta alcanzar la velocidad negativa **v2**. Luego el pistón desplazándose a la velocidad **v2** choca la culata posterior del cilindro deteniéndose instantáneamente.

c) Plano Hidráulico

Un cilindro de doble efecto es mandado por una válvula distribuidora proporcional **4/3**. La velocidad y la aceleración del cilindro es función de la apertura y del direccionamiento de la calcula distribuidora. **S2** y **S3** son límites de carrera que transmiten la información para la conmutación de velocidad o aceleraciones. El sistema es alimentado con una bomba de caudal constante y la presión máxima es de **100 bares**.

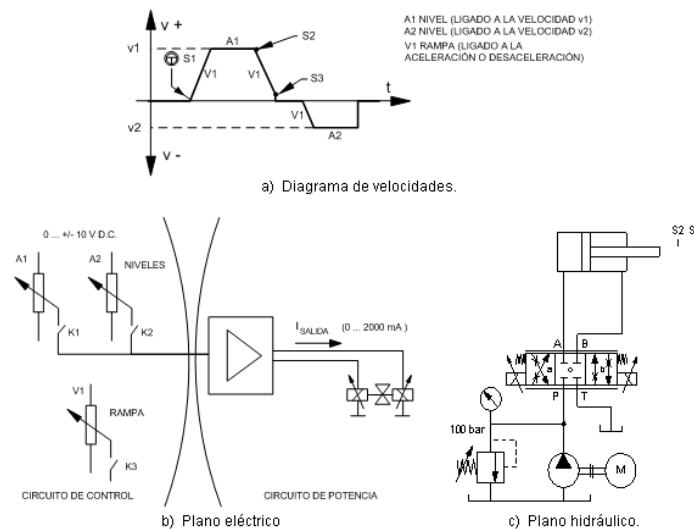


Fig. 2.25 Sistema de control proporcional, diagrama de velocidades, plano eléctrico, diagrama hidráulico
Fuente: http://mecabloggetica.blogspot.com/2013/05/2_29.html

2.32 CONTROL DE ACELERACIÓN Y DESACELERACIÓN DE UNA VÁLVULA PROPORCIONAL

Las válvulas de control de interruptor convencional encendido/apagado tienen únicamente dos condiciones, la completamente abierta y la completamente cerrada; este tipo de válvula son conocidas como de pilotaje, sin importar los aumentos de picos de presión/caudal en el sistema hidráulico produciendo severos daños si estas presión/caudal no son controlados.

La válvula de control direccional proporcional, por el contrario, permite de manera suave el aumento de caudal del aceite, la obstrucción o la inversión del caudal de aceite y así reduce los picos de presión y el movimiento entrecortado del actuador y la carga; según la figura 2.26.

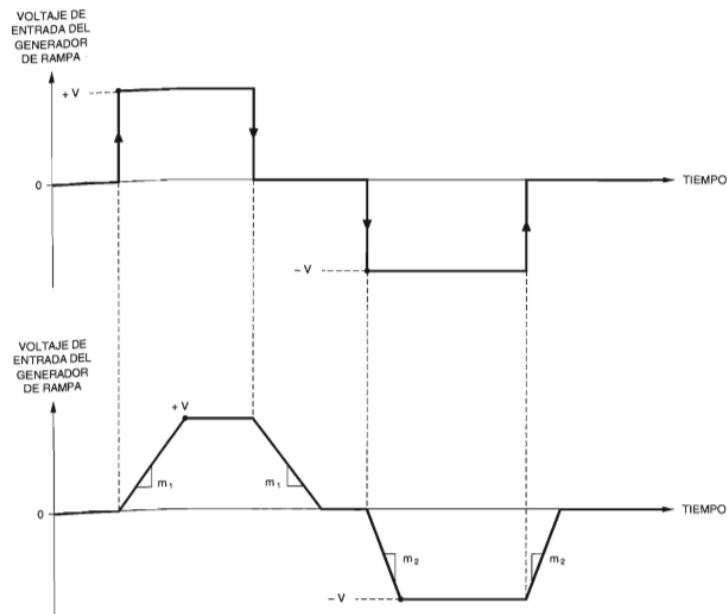


Fig.2.26 Control aceleración y desaceleración de válvula proporcional

Fuente: <http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/ManualesIng/AppdeHidracontoServoP-O.pdf> pag 30

El corrimiento suave de una válvula proporcional se logra haciendo una rampa al voltaje de control aplicado a la válvula con un generador de rampa. En la siguiente figura 2.27

mostraremos un generador de rampa el cual convierte las transiciones rápidas en el voltaje de control a rampa con pendientes de m_1 y m_2 .

Los tiempos del ciclo de la maquina se optimizan ajustando las pendientes m_1 y m_2 con el fin de obtener velocidades mínimas de aceleración y desaceleración con picos limitados de presión y sin oscilación.

En la siguiente grafica mostraremos la manera sencilla de cómo se generaría una rampa en un motor hidráulico de un sistema con válvulas proporcionales y de pilotaje, donde se controla la presión/caudal del sistema.

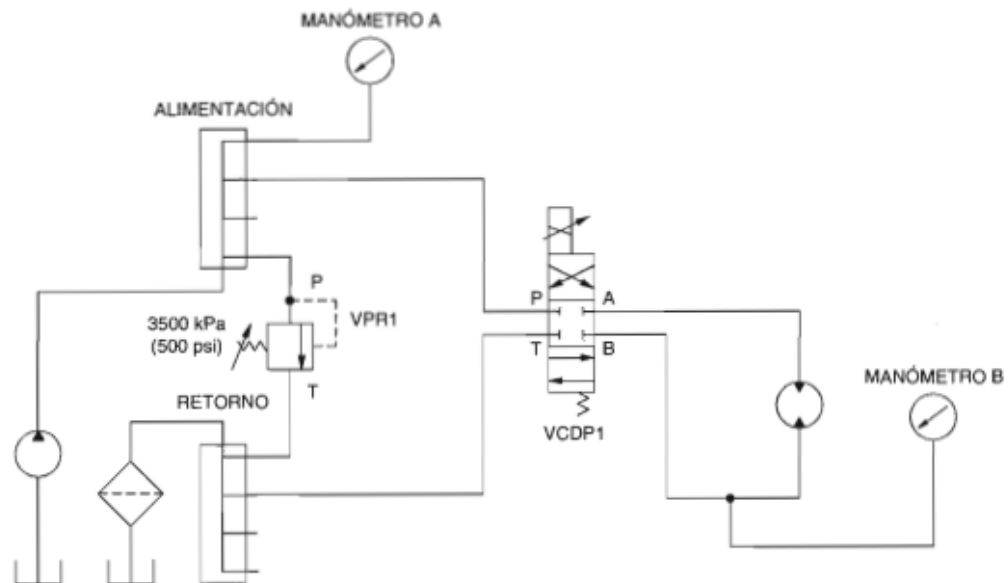


Fig. 2.27 Control de válvula proporcional con generador rampa en motor hidráulico
Fuente: <http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/ManualesIng/AppdeHidracontoServoP-O.pdf> pag 37

En la siguiente figura 2.28 mostraremos la manera sencilla de cómo se generaría una rampa en un cilindro hidráulico de un sistema con válvulas proporcionales y de pilotaje, donde se controla la presión/caudal del sistema.

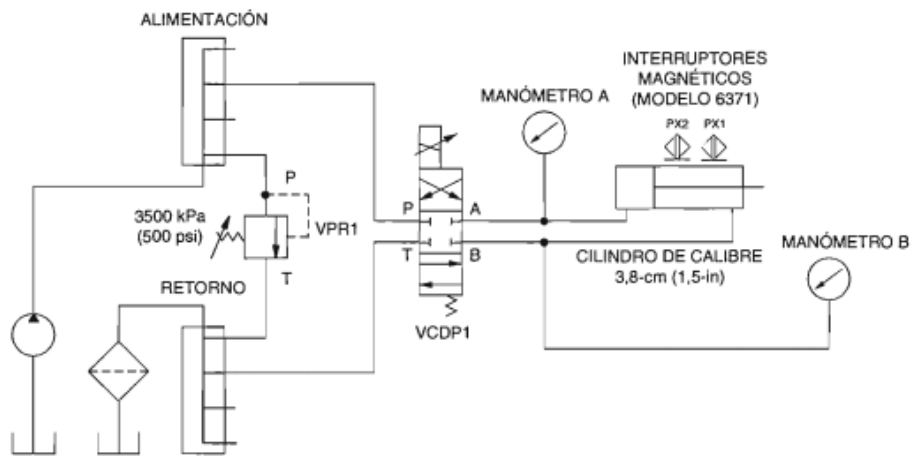


Fig.2.28 Control de válvula proporcional con generador rampa en cilindro hidráulico
 Fuente: <http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/ManualesIng/AppdeHidracontoServoP-O.pdf> pag 37

2.33 FUNCIONES

La utilización de ciertas funciones en nuestros sistemas de control son de gran utilidad y de mayor conocimiento, ya que de este tipo de teoría depende el emprendimiento de nuestra repuesta, en estado estable e inestable, las cuales citaremos las dos más importantes como:

2.34 FUNCIÓN ESCALÓN UNITARIO

La función de escalón unitario es una señal muy útil para probar y definir otras señales según se muestra la figura 2.29, la misma que se define como:

$$u(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t > 0 \end{cases}$$

El tipo de escalón unitario corresponde a una salida: el valor de la función en $t=0$, es indefinido. Otros textos lo pueden definir como 1 o 0. Así que esta nos representa la corriente continua disipada en nuestro dispositivo.

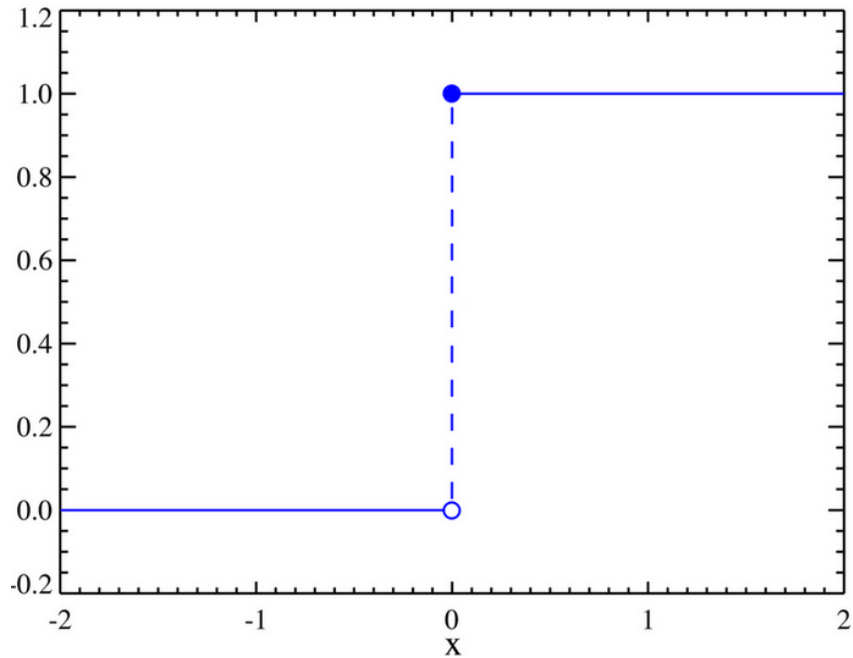


Fig. 2.29 Escalón Unitario

Fuente: http://es.wikibooks.org/wiki/Introducci%C3%B3n_a_Se%C3%B1ales,_Sistemas_y_Control_pag_1

En el caso de la función escalón, físicamente representa un cambio instantáneo que se produce a $t=0$, es una suposición el hecho de representar una función con tiempos negativos (lo cual no existe), en cambio sirve para representar el caso de un interruptor que permanece abierto hasta que en un instante se cierra, establecido el máximo voltaje

2.35 FUNCIÓN RAMPA

La señal es muy utilizada en sistemas con repuestas lenta. En estas se encuentran en utilidad como las válvulas industriales son accionadas a través de servomotores; para evitar sobrepico de corriente y manejo adecuado de la apertura se utiliza este tipo de señal sobre servo. Viendo en estos casos las válvulas proporcionales también pueden controlar electrónicamente a su velocidad, presión; enviando al amplificador de control una señal o función de rampa, gradualmente creciente o decreciente, para su debido control en vista de la necesita empleada. Según se muestra en la figura 2.30

$$u(t) = \begin{cases} t & t > 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$

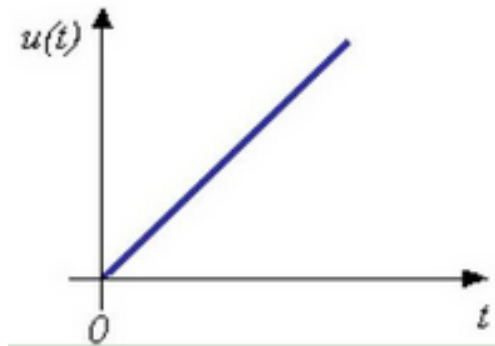


Fig.2.30 Función Rampa

Fuente: <http://teoriadecontrol.blogspot.com/2009/10/analisis-de-sistemas-respuesta.html> pag 1

CAPITULO 3

ANALISIS DEL CONTROL DE LA VALVULA PROPORCIONAL DEL SISTEMA

3.1 SISTEMAS DE CONTROL

En las industrias de hoy en día se podría identificar los diversos tipos de sistemas de control que utilizan mediante su proceso, el mismo que es utilizado ante la debida necesidad del caso; las empresas desean mantener el mejor controlador que pueda satisfacer a las demandas requeridas en sus procesos, habiendo incorporado maquinas de una muy alta gama de tecnología, las mismas que tienen a referenciarse con varios tipos de sistemas de controladores, reconociéndolos a estos controladores como:

1. Control lazo abierto
2. Control lazo cerrado

3.2 CONTROL LAZO ABIERTO

En el control de lazo abierto o bucle abierto, se puede identificar porque tiene un elemento de medición en la salida del proceso. Por lo tanto no puede verificar si se llevo al set-point que se quiere. (No tienen realimentación). El mismo que no cumple un ciclo o proceso completo, haciendo trabajar al sistema en semiciclo.

Para este tipo de control la variable de salida (**variable controlada**) no tiene efecto sobre la acción de control (**variable de control**), sin reconocer el termino del proceso o la salida del mismo. El control de lazo abierto suele aparecer en dispositivos con **control secuencial**, en el que no hay una regulación de variables sino que se realizan una serie de operaciones de una manera determinada, esa secuencia de operaciones pueden venir impuesta por eventos (event-driven) o por tiempo (time-driven), utilizando PLC's.

La exactitud de estos sistemas depende de su calibración, de manera que al calibrar se establece una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada, tal y cual mostraremos la siguiente figura 3.1.

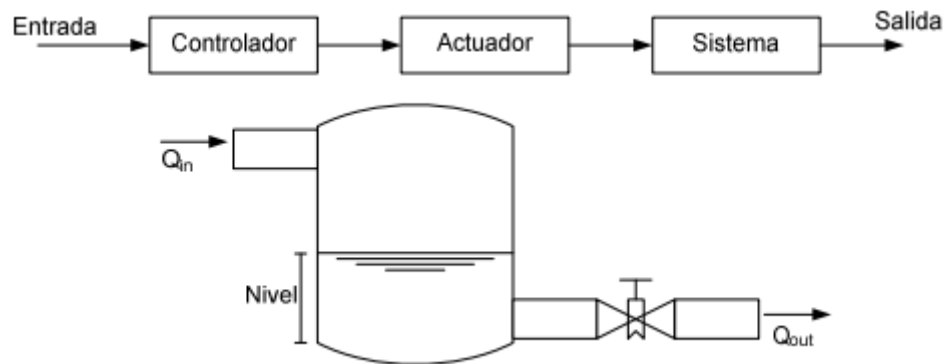


Fig. 3.1 Control lazo abierto

Fuente: http://ciecfie.epn.edu.ec/wss/VirtualDirectories/80/CCControlC/materias/automatico/Descargas/Mo delaci%C3%B3n/Lecturas/Lecturas_PDF/Lectura%201.pdf pag 3

Como se observa los sistemas de lazo abierto dependen de la variable de tiempo y la salida no depende de la entrada. El principal inconveniente que presentan los sistemas de lazo abierto es que son extremadamente sensibles a las perturbaciones, en la práctica los controles de lazo abierto solo se usan si se conoce la relación entre la entrada y la salida reconociendo que no existan perturbaciones tanto externas como internas; reconociéndolos como sistemas de control no realimentados.

3.3 CONTROL LAZO CERRADO

Estos controladores incluyen dentro sus procesos al medidor de la variable del procesos para que su señal sea comparada con el set-point; llamándolos control de lazo cerrado, porque el elemento primario de medición siempre está viendo la variable del proceso y le indica al controlador las variaciones que está teniendo este para que envíe la salida necesaria al elemento final, llevando al proceso al valor del (set-poin); controlando el sistema ya sea que exista perturbaciones en el mismo, de esta manera puede intervenir si existe una desviación en el sistema. En pocas palabras podríamos definir como el

sistema de control en lazo cerrado aquellos en los que la señal de salida del sistema (**variable controlada**) tiene efecto directo sobre la acción de control (**variable de control**). Este lazo de control cerrado típico, está formado por el proceso, el **elemento primario de medición, el controlador y el elemento final**.

La retroalimentación (**feedback**) es la propiedad de un sistema en lazo cerrado por lo cual la salida (o cualquier otra variable del sistema que esté controlada) se compara con la entrada del sistema (o una de sus entradas), de manera que la acción de control se establezca como una función de ambas. Según muestra la figura 3.2

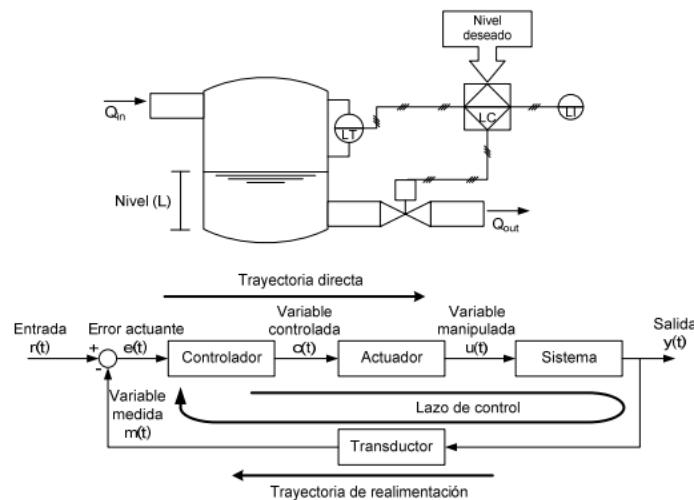


Fig. 3.2 Control lazo cerrado

Fuente: http://ciecfie.epn.edu.ec/wss/VirtualDirectories/80/CCControlC/materias/automatico/Descargas/Mo delaci%C3%B3n/Lecturas/Lecturas_PDF/Lectura%201.pdf pag 4

A veces también se le llama a la realimentación, transductor de la señal de salida, ya que mide en cada instante el valor de la señal de salida y proporciona un valor proporcional a dicha salida.

Por lo tanto podemos definir también los sistemas de control en lazo cerrado como aquellos sistemas en los que existe una realimentación de la señal de salida, de manera que esta ejerce un efecto sobre la acción de control.

En esta figura demostramos de cómo la salida es realimentada hacia la entrada. Ambas se comparan, y la diferencia que existe entre la entrada, que es la señal de referencia o consigna (señal de mando) y el valor de la salida (señal realimentada) se conoce como error actuante. Esta señal de error actúa sobre el controlador que a su salida proporciona una señal, la cual a través del elemento actuador, influye en la planta o proceso para que la salida alcance el valor previsto. Se intenta que el sistema siga siempre a la señal de consigna.

El regulador o controlador es el elemento que determina el comportamiento del bucle, por lo que debe ser un componente diseñado con gran precisión. Es el cerebro del bucle de control. Mientras que la salida se mantenga en el valor previsto, el regulador no actuara sobre el actuador. Pero si este valor se aleja del prefijado, el regulador modifica su señal, ordenando al actuador que influya sobre la planta o proceso, con la finalidad de mantener el valor comprometido.

Los sistemas de lazo cerrado son mucho menos sensibles a las perturbaciones que los de lazo abierto, ya que cualquier modificación de las condiciones del sistema afectara a la salida, pero este cambio será registrado por medio de la realimentación como un error que es en definitiva la variable que actúa sobre el sistema de control. De este modo, las perturbaciones se compensan, y la salida se independiza de las mismas.

Otro de los lazos conocidos pero no muy utilizado es él:

3.4 LAZO CONTROL TODO – NADA

En este tipo de control, el elemento final de control se mueve rápidamente entre una de dos posiciones fijas a la otra, para un valor de la variable controlada.

En estos lazos de control de procesos tenemos que tener muy claro ciertas definiciones o conceptos de las señales que se den en nuestro sistema, elaborando una referencia de cada uno para saber al cual pertenece dicha señal. Como muestra la figura 3.3.

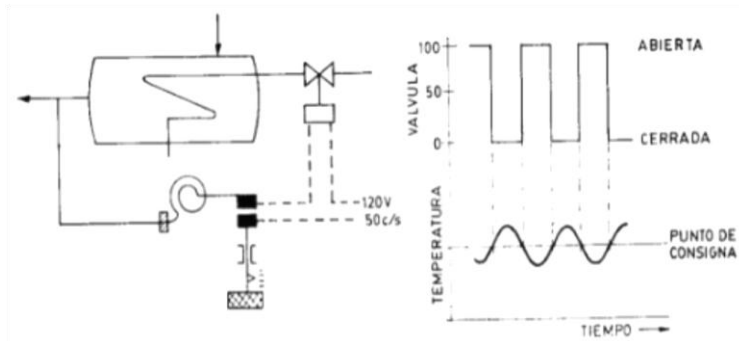


Fig. 3.3 Control todo o nada

Fuente: <http://es.slideshare.net/JELEstrada/lazo-de-control pag 7>

3.5 LAZO CONTROL ON/OFF

El modo de control **ON/OFF** es lo más elemental y consiste en activar el mando de control cuando este se encuentra por debajo del valor deseado (set – point) y luego desactivado cuando el valor este por arriba del programado, llegando a tener un control del sistema en un tiempo muy elevado. Como observamos en la figura 3.4.

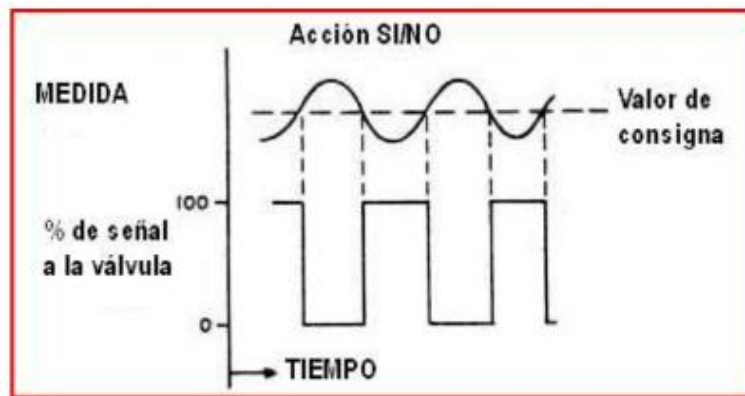


Fig. 3.4 Lazo de control ON/OFF

Fuente: <http://es.slideshare.net/quasar.0360.7912/sintonizacion-de-controladores-pid pag 5>

3.6 SEÑAL DE REFERENCIA O CONSIGNA

Es una señal externa de control y, con ella, imponemos el valor deseado en la señal de salida, con esta señal justificaremos el control deseado de nuestra planta, estableceremos parámetros al cual desearíamos controlar.

3.7 PERTURBACIONES

Las perturbaciones se producen de forma imprevista y provocan una desviación de la señal real respecto de la señal deseada; pueden ser internas, que dependen del propio sistema como envejecimientos de componentes, malos sistemas de aislamientos (provocando armónicos o tierras flotantes), señales de entradas o referencias erróneas, etc.

3.8 COMPARADOR O DETECTOR DE ERROR

Es el dispositivo encargado de comparar el valor de referencia con el valor de la realimentación, el resultado de dicha comparación constituye el error de funcionamiento o desviación de la salida con relación al valor previsto. Para realizar tal comparación según sea el tipo de señales a comparar (eléctricas, neumáticas, posición, temperatura, etc...)

3.9 PREACCIONADOR

Tiene por finalidad amplificar la señal procedente del regulador para atacar al actuador. Cumpliendo cierta función esencial en el sistema de control, fortaleciendo las señales y ayudando a los actuadores a comportarse de forma adecuada, ya sea voltaje o corriente necesaria a utilizarse.

3.10 TRANSDUCTOR O DETECTOR

Consiste en un dispositivo capaz de medir en cada instante el valor de la magnitud de salida y proveer una señal proporcional a dicho valor. Normalmente todo transductor consta de dos partes diferenciadas:

- **El captador o sensor**, cuya finalidad es captar directamente la magnitud medida (presión, nivel, caudal, temperatura, velocidad, posición, iluminación, etc.).
- **El transmisor**, que transforma la magnitud vista por el captador en una señal, generalmente eléctrica o neumática, que se enviara al detector de error.

3.11 VARIABLE DE PROCESO, SET – POINT

La variable de medida que se desea estabilizar (controlar) recibe el nombre de variable de proceso (Process Value) y se abrevia Pv.

Siendo el SET – POINT el valor deseado de la variable de proceso, es el valor al cual el control se debe encargar de mantener la Pv, la cual se debe mantener el control del sistema.

Una vez teniendo estos dos valores en teorías podemos decir que la diferencia entre estos dos valores es el ERROR, que no es más que la diferencia del SET – POINT con relación a la Pv.

$$E = (Sp - Pv) \qquad \text{Form. \#1}$$

3.12 REGULADOR

Es el dispositivo encargado de amplificar y modificar adecuadamente la señal de error que le proporciona el comparador con el fin de que la acción de control sobre el sistema sea más eficaz y presente mejores características de funcionamiento en cuanto a precisión, estabilidad, tiempo de repuesta y sobreoscilaciones.

Los reguladores pueden ser de los tipos siguientes:

1. Proporcionales (**P**)
2. Proporcional – derivativo (**PD**)
3. Proporcional – integrativo (**PI**)
4. Proporcional – derivativo – integral (**PID**)

Este último es el más utilizado e eficiente dentro de los sistemas de control.

3.13 CONTROL PROPORCIONAL

Conocido como el controlador que entrega una potencia que varía en forma proporcional; la señal de salida del controlador es múltiplo (ganancia KP) del porcentaje de cambio de señal medida.

Existe un valor límite de la ganancia del controlador proporcional. Más allá de este límite el sistema alcanza valores superiores a los deseados, fenómeno conocido como *sobreoscilacion*. Por razones de seguridad, la sobreoscilacion no debe superar el 30%.

El controlador proporcional no considera el tiempo. Por esta razón, para solucionar el error permanente y lograr que el sistema contenga alguna componente que considere la variación respecto al tiempo, se incluyen las acciones integral y derivativa. Como observamos en la figura 3.5.

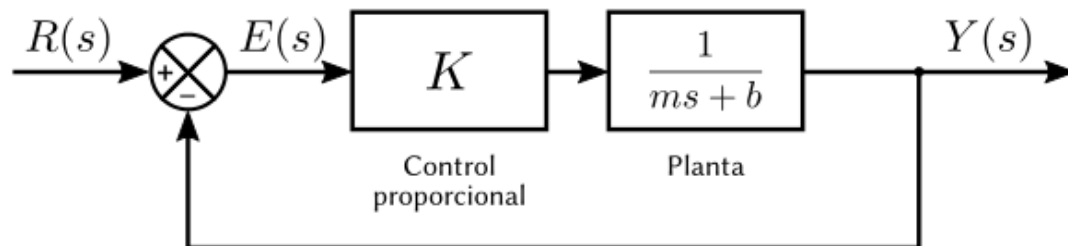


FIG. 3.5 control proporcional

Fuente: <http://pybonacci.org/wp-content/uploads/2013/11/proportional.png>

3.14 CONTROL INTEGRAL

El modo de control integral tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocando por el modo proporcional. Actúa cuando hay una desviación

entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional.

El error es integrado, es decir *promediado* o sumado por un periodo determinado, para posteriormente ser multiplicado por una constante **KI**.

Cuando la repuesta integral es adicionada al modo proporcional para formar el control P + I, se obtiene una repuesta estable del sistema sin error estacionario. Como muestra la figura 3.6.

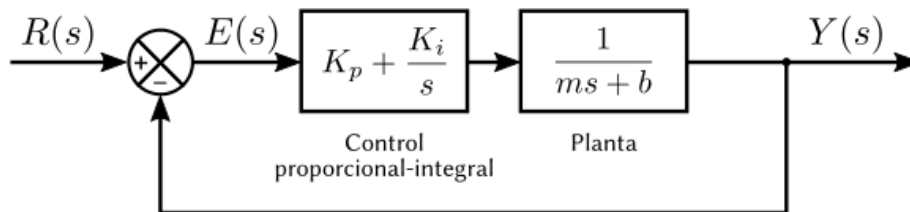


Fig. 3.6 Control Integral

Fuente: <http://pybonacci.org/wp-content/uploads/2013/11/pi.png>

3.15 CONTROL DERIVATIVO

La acción derivativa se manifiesta cuando hay un cambio en el valor absoluto del error; la función de la acción derivativa es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la misma velocidad que se produce; de esta manera evita que el error se incremente.

El error se deriva con respecto al tiempo y se multiplica por una constante **KD**; el control derivativo se caracteriza por el tiempo de acción derivada. Cuando el tiempo de acción derivada es pequeño, la variable oscila demasiado con relación al punto de consigna. El tiempo óptimo de acción derivativa es el que retorna la variable al punto de

consigna con las mínimas oscilaciones. Suele ser poco utilizada debido a la sensibilidad al ruido que manifiesta y a las complicaciones que ello conlleva.

3.16 CONTROLADOR PROPORCIONAL – INTEGRAL – DERIVATIVO (PID)

Siendo estos los diseños de control más utilizados, por ser más eficientes y sencillos con respecto a los antes mencionados, siempre recordando que no se aplican a los sistemas complejos como los MIMO. Así como podemos observar en la figura 3.7.

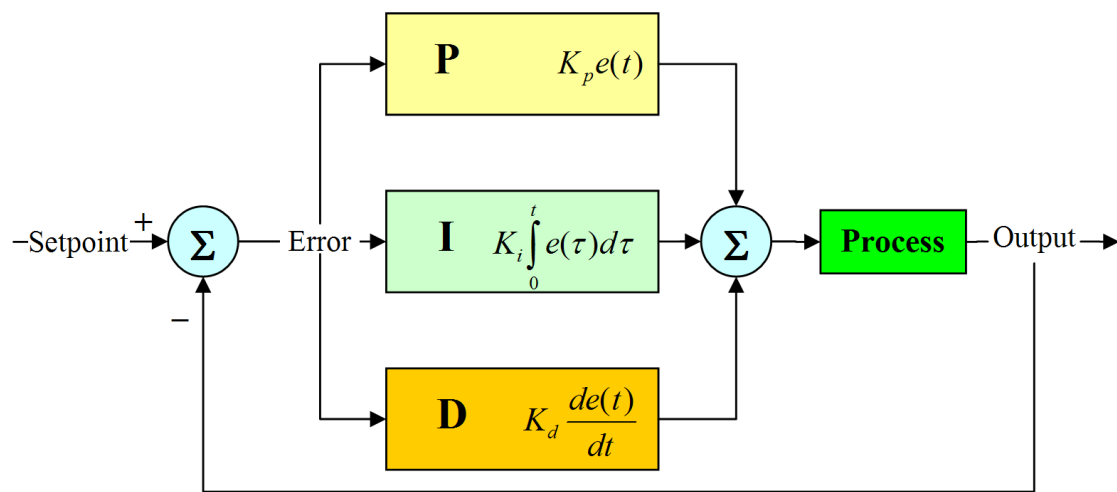


Fig. 3.7 Diagrama en bloques de un control PID
Fuente: <http://programacionsiemens.com/pid-en-step7/>

PID se refieren a los tres términos que operan sobre la señal de error para producir a la salida del controlador; considerando que $u(t)$ es la señal de consigna que se envía al sistema, $y(t)$, el error existente; un controlador PID se define matemáticamente como:

$$u(t) = KPe(t) + KI \int e(t)dt + KDe(t) \quad \text{Form. \#2}$$

- El primer sumando aplica una señal proporcional al error.
- El segundo evalúa la evolución del error, y se vuelve más significativo cuando el error es pequeño pero constante.
- El tercer término considera la tendencia en el error, y se nota más cuando el error se produce por instantes.

La dinámica deseada en lazo cerrado se obtiene ajustando los tres parámetros K_P , K_I y K_D . Este ajuste a menudo se hace iterando de manera empírica y sin conocimiento previo del modelo del sistema. A menudo se puede asegurar la estabilidad usando únicamente el término proporcional.

3.17 PASOS DE DISEÑO DE CONTROLADOR PID EN EL TIEMPO

- Definir las especificaciones de diseño. Determinar que se debe hacer el sistema como debe hacerlo.
- Determinar la estructura del sistema de control y el tiempo de controlador.
- Determinar los parámetros del controlador para cumplir con las especificaciones del diseño.

Las especificaciones de diseño de controladores incluyen:

- Precisión requerida en el régimen establecido de trabajo.
- Las exigencias al proceso transitorio (respuesta transitoria).
- Requerimientos sobre el control de perturbaciones (interferencias).

Existen varias alternativas para diseñar y sintonizar controladores:

- Mediante el lugar de las raíces.
- Técnicas de la respuesta en frecuencia de Bode.
- Criterios de sintonización en frecuencia de Nyquist.
- Criterios de sintonización de Nichols.
- Sintonización ensayo – error.

Un controlador **PID** aporta dos ceros, un polo en el origen y una ganancia.

La sintonización fina, por el lugar de las raíces, se logra modificando los ceros y la ganancia del controlador **PID** para obtener una respuesta óptima. La sintonización de controladores **PID** se basan en las reglas de sintonización de Ziegler – Nichols. Un controlador **PID** aporta dos ceros, un polo en el origen y una ganancia; la sintonización

fin por el lugar de las raíces, se logra modificando los ceros y la ganancia del controlador **PID** para obtener una repuesta optima.

Ziegler y Nichols propusieron una serie de reglas para afinar controladores **PID** con base a una repuesta experimental. Definieron dos métodos.

Este método permite aproximar los parámetros del controlador **PID** para un sistema cuya repuesta al escalón corresponde según muestra la grafica 3.8:

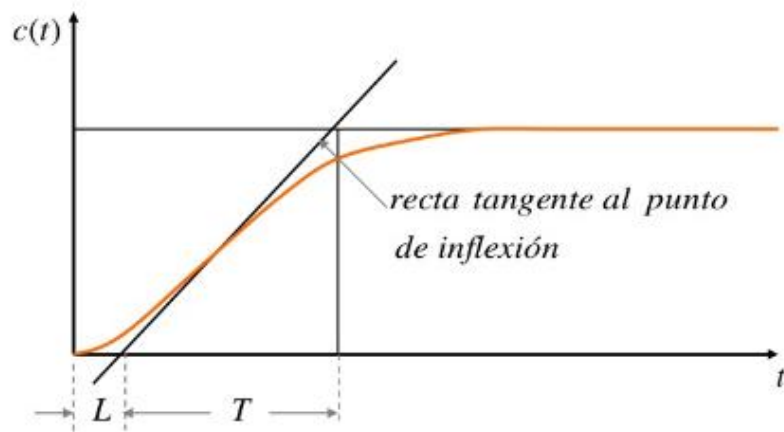


Fig. 3.8 Primer método de Ziegler – Nichols

Fuente: <http://es.slideshare.net/quasar.0360.7912/sintonizacion-de-controladores-pid> pag 26

La repuesta descrita no tiene oscilaciones y posee un retarde tal que se forma una “ese”; esta repuesta se caracteriza con el tiempo de atraso L y la constante del tiempo T ; esta repuesta se puede aproximar por un sistema de primer orden con atraso de transporte:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1} \quad \text{Form. \#3}$$

Con los valores de L y T se aproximan los parámetros del controlador **PID**, de acuerdo al siguiente criterio mostrado en la figura 3.9.

Tipo de controlador	K_p	τ_i	τ_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2\frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Fig. 3.9 Parámetros del controlador PID

Fuente: <http://es.slideshare.net/quasar.0360.7912/sintonizacion-de-controladores-pid> pag 28

La aplicación de este método implica seguir el siguiente algoritmo:

- ✓ Eliminar los efectos de la parte integral y derivativa
- ✓ Utilizar solo la ganancia proporcional para llevar al sistema a oscilaciones sostenidas. El valor de ganancia proporcional en que el sistema oscila, se denomina ganancia crítica.
- ✓ Calcular el periodo crítico que corresponda a la ganancia crítica.
- ✓ Aproximar los parámetros del controlador PID, sobre la base de la ganancia y el periodo crítico, de acuerdo la figura 3.10.

Tipo de controlador	K_p	τ_i	τ_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Fig. 3.10 Segundo método de Ziegler-Nichols

Fuente: <http://es.slideshare.net/quasar.0360.7912/sintonizacion-de-controladores-pid> pag. 30

3.18 AJUSTE DE UN PID

Existen algunos procedimientos para ajustar un **PID**, que dependen del proceso que se quiere regular, la finalidad es ajustarlo de tal forma que al provocar un disturbio (ya sea simulado) el controlador lleve al proceso a la estabilidad (**PV = SP**) en el menor tiempo posible o el permitido por el proceso, optimizando la corrección del error así dando garantías por el control que se está ejecutando a dicho sistema, según vemos la figura 3.11.

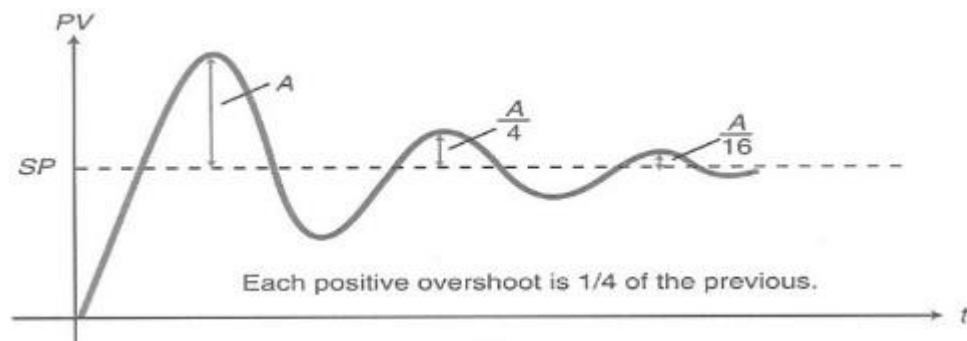


Fig. 3.11 corrección de controlador **PID**
Fuente: <http://es.slideshare.net/JELEstrada/lazo-de-control> pag 27

CAPITULO 4

PLC (CONTROLADORES PID EN AUTOMATAS SIEMENS)

Estos autómatas son los más utilizados en el medio industrial, ya que se adaptan a todos los medios de manera muy comercial, aquellos que pueden ser accesibles en el mercado y de soporte técnico muy sólidos que podrían alcanzar grandes propósitos en los proyectos a emplear; muchos autómatas han empezado a ingresar en el mercado industrial, pero el siemens es el más utilizado en el país, y para la preparación académica es el más útil. Ya que su software es muy amigable y cada vez tiene mejoras para poder hacer tus trabajos de manera fácil y sin inconvenientes, como es el SIEMENS S7-1200.

4.1 El SIMATIC S7-1200 Controlador Lógico Programable (PLC)

El controlador lógico programable (**PLC**) S7-1200 ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones; según vemos la figura 4.1.

La **CPU** incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta, conformando así un potente **PLC**. Una vez cargado el programa en la CPU, esta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa del usuario, que puede incluir lógica **booleana**, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes.

Numerosas funciones de seguridad protegen el acceso tanto a la CPU como al programa de control:

- Toda CPU ofrece protección por contraseña que permite configurar el acceso a sus funciones.

- Es posible utilizar la “protección de **know-how**” para ocultar el código de un bloque específico.

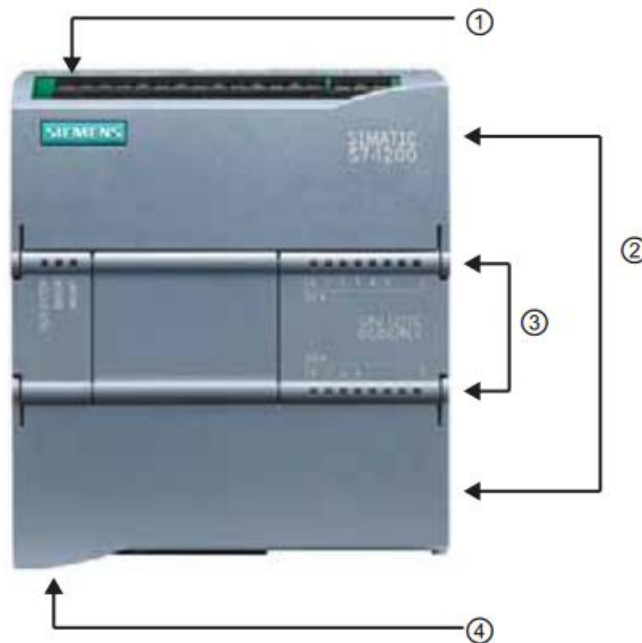


Fig. 4.1 CPU SIEMENS S7-1200

Fuente: <https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF> pag 11

La CPU incorpora un puerto PROFINET para la comunicación en una red PROFINET. Los módulos de comunicación están disponibles para la comunicación en redes RS485 o RS232:

1. Conector de corriente
2. Conectores extraíbles para el cableado de usuario (detrás de las tapas)
3. Ranura para memory card (debajo de la tapa superior)
4. LEDs de estado para las E/S integradas
5. Conector PROFINET (en el lado inferior de la CPU)

4.2 CARACTERÍSTICAS DE SIMATIC S7-1200

Estas características colocan a este tipo de **PLC** en una gran opción para poder utilizarlo de manera habitual en el medio industrial, complaciendo a las demandas requeridas por el medio industrial para acoplarse a sus funciones diarias, según la figura 4.2.



Fig. 4.2 Clasificación de la gama de PLC SIEMENS

Fuente: https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/documentacion/Documents/SIMATIC%20S71200R.pdf pag 8

- Diseño escalable y flexible para adaptarse exactamente a sus requerimientos de aplicación.
- Comunicación industrial para satisfacer sus requerimientos de red.
- Tecnología integrada y diagnóstico para resolver sus tareas de automatización más complejas.

4.3 MEMORIA DE USUARIO INTEGRADA

El S7-1200 CPU dispone de las siguientes áreas de memoria:

- Memoria de carga – un área de almacenamiento no volátil para el programa de usuario, los datos y la configuración.
- Memoria de trabajo – un área de almacenamientos volátil para algunos proyectos de usuario utilizado por la CPU mientras se ejecuta el programa de usuario.
- Memoria retentiva – un área de almacenamiento no volátil que se utiliza para “retener” una cantidad limitada de valores de la memoria de trabajo durante una pérdida de potencia.

4.3.1 Memoria de usuario integrada

Se caracteriza de la siguiente manera:

- Admite una frontera “flotante” entre el programa de usuario, los datos de los programas y los datos de configuración.
- Almacena los comentarios del programa y símbolos de usuario.
- Almacena la información de configuración y general para cada dispositivo de hardware.

4.3.2 Características adicionales

Bloques terminales desmontables para la puesta en marcha y mantenimiento sencillos. (En todas las CPUs, Módulos de señales, Signal Boards y Communicatio Boards). Según muestra la figura 4.3.

Reloj de tiempo real y calendario integrado

- Horario de verano y offset estándar de tiempo.
- Una súper-condensador mantiene reloj en funcionamiento cuando la CPU está apagado con un tiempo de retención de 10 días típicamente.



Fig. 4.3 Características de S7 – 1200 (desmontaje de terminales)

Fuente: https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/documentacon/Documents/SIMATIC%20S71200R.pdf pag 23

4.3.3 Rendimiento

La CPU S7-1200 combina un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, entradas, salidas y en una carcasa compacta para crear un controlador muy potente.

La CPU controla cambios de entradas/salidas y de acuerdo a la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica **booleana**, contaje, temporizador, operaciones matemáticas, y la comunicación con otros dispositivos inteligentes.

4.4 DISEÑO ESCALABLE Y FLEXIBLE (S7-1200)

4.4.1 Expansión de la capacidad de la CPU

El S7-1200 ofrece una gran familia de módulos y tarjetas **plug-in** para la expansión de las capacidades de la CPU. Con interfaces adicionales de E/S y de comunicación, S7-1200 se puede configurar para adaptarse exactamente a sus requisitos de aplicación.

4.4.2 Módulos de señales (SM)

Con los módulos de señales, puede fácilmente ampliar el número de E/S del controlador para adaptarse exactamente a sus requisitos de aplicación. Como observamos la figura 4.4.

- Los módulos digitales proveen canales digitales de E/S adicionales.
- Los módulos de medida analógica y temperaturas proveen canales analógicas de E/S adicionales.

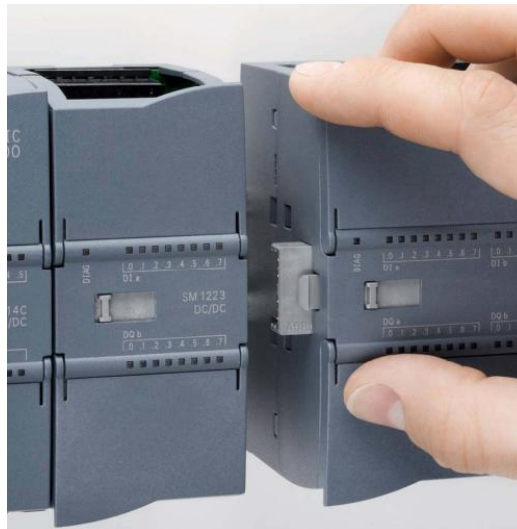


Fig. 4.4 Módulos de señales (SM)

Fuente: https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/documentacion/Documents/SIMATIC%20S71200R.pdf pag 28

4.4.3 Cable de expansión para módulos de señales

Con el cable de expansión de 2 metros es posible montar la CPU y los módulos de señales en dos filas separadas. Esto proporciona una mayor flexibilidad durante la configuración e instalación.

4.5 COMUNICACIÓN DE S7-1200

El S7-1200 ofrece una variedad de opciones de comunicación para satisfacer todas sus necesidades de red.

- PROFINET
- PROFIBUS
- Punto a Punto (PtP) Communication
- Universal Serial Interface (USS)
- Modbus RTU (Modbus TCP/IP en proceso)
- Comunicación telecontrol

4.6 TECNOLOGIA INTEGRADA Y DIAGNOSTICO

4.6.1 Contadores de alta velocidad

Para el recuento de eventos de mayor rapidez que la velocidad de ejecución del OB. El S7-1200 soporta hasta 6 contadores de alta velocidad para el control preciso de **encoders** incrementales, conteo de frecuencia o conteo de eventos del proceso de alta velocidad.

4.6.2 Generadores de impulsos

Para controlar las funciones de salida de impulsos a alta velocidad:

Ancho de pulso (PWM) para el control del ciclo de trabajo.

Tren de impulsos (PTO) para su uso con instrucciones de control de movimiento.

El S7-1200 soporta hasta 2 generadores de impulsos.

Los generadores de impulsos se pueden utilizar ya sea con las salidas integradas de la CPU o las salidas de una Signal Board.

4.6.3 Control de movimiento

Para el funcionamiento de motores poso a poso y servomotores con una interfaz de impulsos:

- Herramientas para la configuración, puesta en marcha y el diagnostico se ofrecen del STEP 7 para el objeto tecnológico “Eje”.
- Se utilizan instrucciones de control de movimiento basado en **PLCopen**, un estándar aceptado internacionalmente de control de movimiento, en el programa de usuario para controlar el eje y para iniciar tareas de movimiento.

Herramientas para la puesta en línea y diagnostico del eje:

- El panel de control se puede utilizar para probar el eje y funciones de la unidad o para mover el eje en modo manual.
- Los bits de estado se utilizan para controlar los mensajes de estado y error del eje.
- El estado de movimiento se utiliza para controlar los comandos de movimiento del eje.

4.6.4 Control PID

El S7-1200 nos brinda para el control de proceso simple; así como muestra la figura 4.5:

- Herramientas para la configuración y puesta en marcha proporcionadas en STEP 7Basic para el objeto tecnológico “**controlador PID**”
- Instrucciones PID empleadas en el programa de usuario para controlar capacidad autoajustable y manual.
 - La instrucción compacta **PID** para regular el ciclo de trabajo de un contactar de estado sólido o la velocidad de un inversor.
 - La nueva instrucción **PID 3-Step** se utiliza para regular posición de una válvula o del actuador.

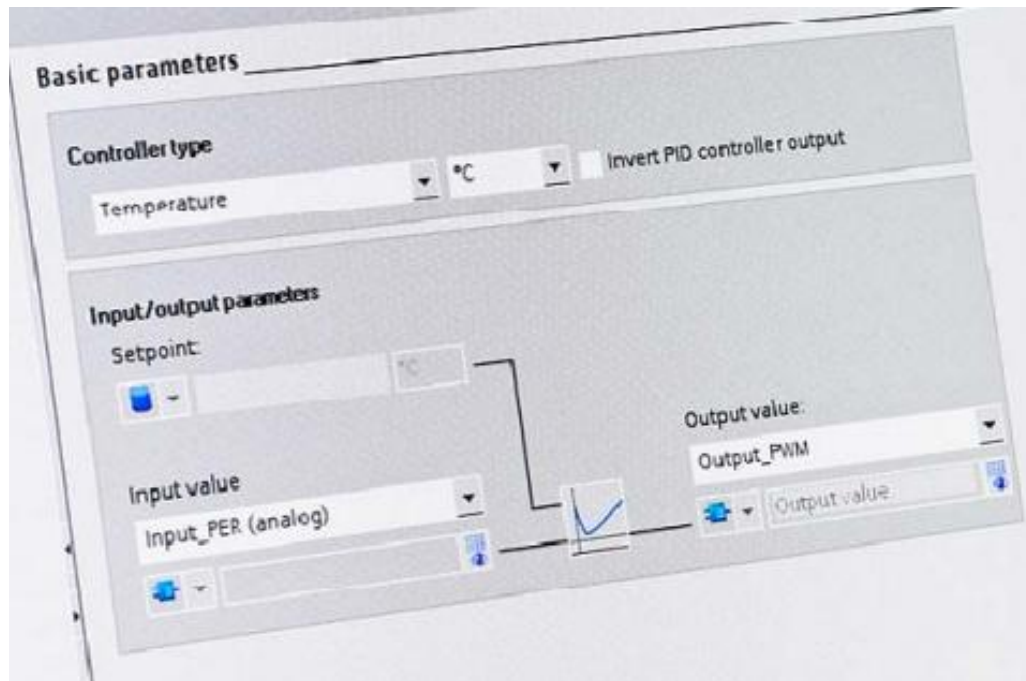


Fig. 4.5 Control PID S7-1200

Fuente: https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/documentacion/Documents/SIMATIC%20S71200R.pdf pag 69

Herramientas para el monitoreo en línea y la puesta en marcha del regulador **PID**; así como vemos en la figura 4.6, donde la curva del control del proceso PID se grafica en línea.

- El “trend view” proporciona una ilustración grafica del punto de ajuste, el valor real y el valor manipulado.
- Funciones soportadas
 - Optimización del controlador mediante “**self tuning during initial start**”.
 - Optimización del controlador mediante “**self tuning in the operating point**”.
 - Test de proceso mediante la especificación de una variable manipulada manualmente.



Fig. 4.6 Herramienta de PID para la visualización on line del control S7-1200
Fuente: https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/documentacion/Documents/SIMATIC%20S71200R.pdf pag 70

4.7 CARACTERÍSTICAS DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN SIMATIC

JUAN GARCIA (2010), comenta la existencia de tres lenguajes denominados:

- Lista de instrucciones “AWL”
- Diagrama escalera “KOP”
- Diagrama lógico “FUP”

Siendo así lo mas utilizados el **AWL** y **KOP** la decisión no es pues que lenguaje de programación utilizar, sino cuando utilizarlo. Para poder despejar dudas deberemos aprender primero las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos.

4.7.1 VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL LENGUAJE AWL

JUAN GARCIA (2010) da a conocer las ventajas del **AWL**, el más utilizado en Simatic; según la figura 4.7.

- Es el lenguaje más compacto, que necesita menos instrucciones de programación de todos, con lo cual el programa ocupa menos código compilado, pues su traducción a código máquina es casi directo. Esto permite optimizar la cantidad de memoria disponible y el tiempo de ciclo es menor.
- Es el más indicado para operaciones de saltos condicionales.
- Permite introducir una gran cantidad de sentencias en la misma pantalla.

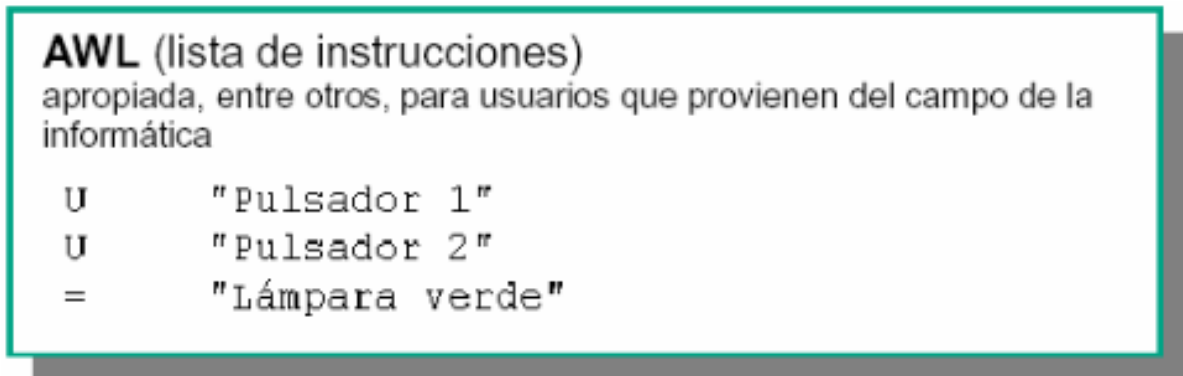


Fig. 4.7 Lenguaje AWL del PLC siemens

Fuente: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/1979/1/pfc3523.pdf> pag 34

Como desventaja del lenguaje **AWL** (JUAN GARCIA / 2010) relata que:

- La programación de secuencias de pasos en procesos (**set y reset de etapas**) carece de sentido en este lenguaje, ya que no se gana memoria y el programa se convierte en ininteligible hasta para el propio programador.

4.7.2 VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL LENGUAJE KOP

JUAN GARCIA (2010), nos da a conocer las ventajas del **KOP** y según la figura 4.8:

- Es muy sencillo ver en las condiciones que no cumplen y seguir proceso.

- Totalmente indicado para programadores más cercanos al mundo eléctrico que al informático en tareas de tratamiento digital (bobinas, set, reset...)

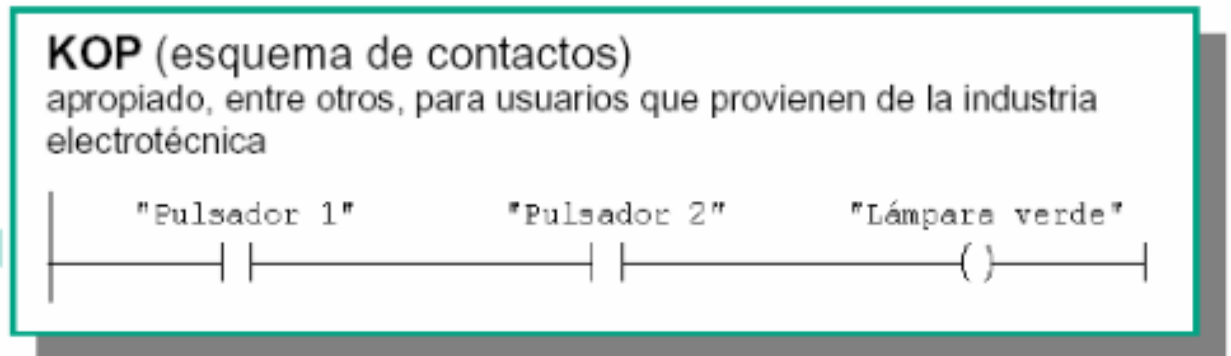


Fig.4.8 Lenguaje KOP del PLC siemens

Fuente:<http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/1979/1/pfc3523.pdf> pag 34

Así mismo las desventajas del **KOP**

- Las series paralelas requieren tanto espacio en pantalla que se salen de la misma, por lo que obliga a desplazar a menudo. La solución a dicho problema pasa por utilizar marcas.
- El realizar comparaciones de salto analógicas es misión casi imposible, a poco que se complique el tema.
- Y el principal problema: las cajas de KOP necesitan una sistemática de proceso por parte del Step 7 que hace que no se optimice el código de las mismas, por lo que el programa haciendo lo mismo va más lento.

4.7.3 VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL LENGUAJE FUP

JUAN GARCIA (2010), informa sobre las ventajas del lenguaje **FUP**, figura 4.9:

- Permite realizar gran cantidad de series y paralelos en la misma pantalla, con lo cual se acerca a la ventaja del AWL, pero con mayor claridad en el diagnóstico.
- Es el indicado para los programadores electrónicos, acostumbrados a la lógica digital cableada.

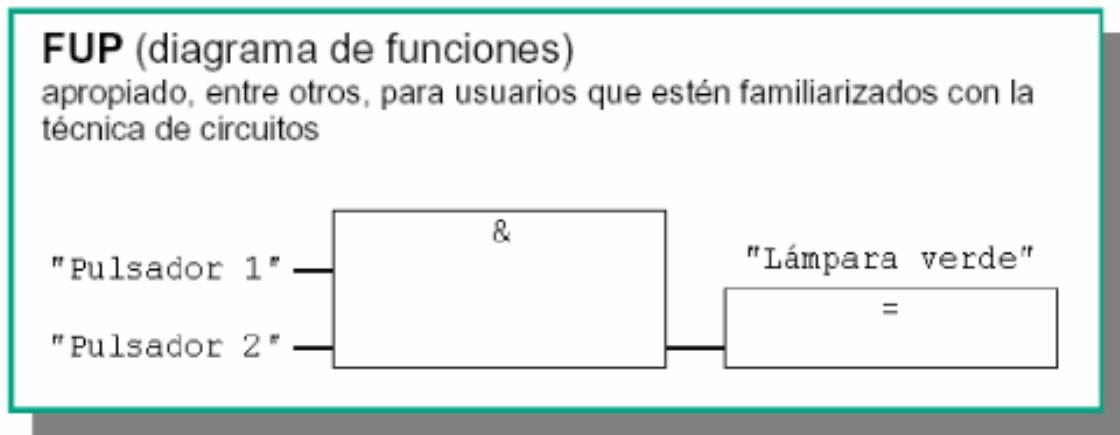


Fig.4.9 Lenguaje FUP del PLC siemens S7-300
 Fuente:<http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/1979/1/pfc3523.pdf> pag 35

Como desventaja del lenguaje **FUP** anuncia (JUAN GARCIA 2010)

- No es útil, al igual que le pasaba al **KOP**, para tratar valores analógicos ni condiciones de salto.
- Sufre el mismo problema de optimización de código en el tratamiento que realiza del mismo STEP 7.
- Los programadores de **KOP** suelen no identificar de una manera rápida las combinaciones **and** y **or** en un status de programa

4.8 FUNCION PARA REGULACION PID CONTINUA (FB 41)

Juan García (2010) informa que la regulación PID se trata de la función **FB 41**, etiquetada como “**CON_C**”. El regulador puede aplicarse como regulador **PID** de consigna fija, autónomo o también en regulaciones de varios lazos como regulador en cascada. Su modo de trabajo se basa en el algoritmo de regulación **PID** del regulador muestreado con señal de salida analógica, implementando un regulador **PID** completo con salida continua de magnitud manipulada y posibilidad de influenciar manualmente el valor manipulado, según la figura 4.10.

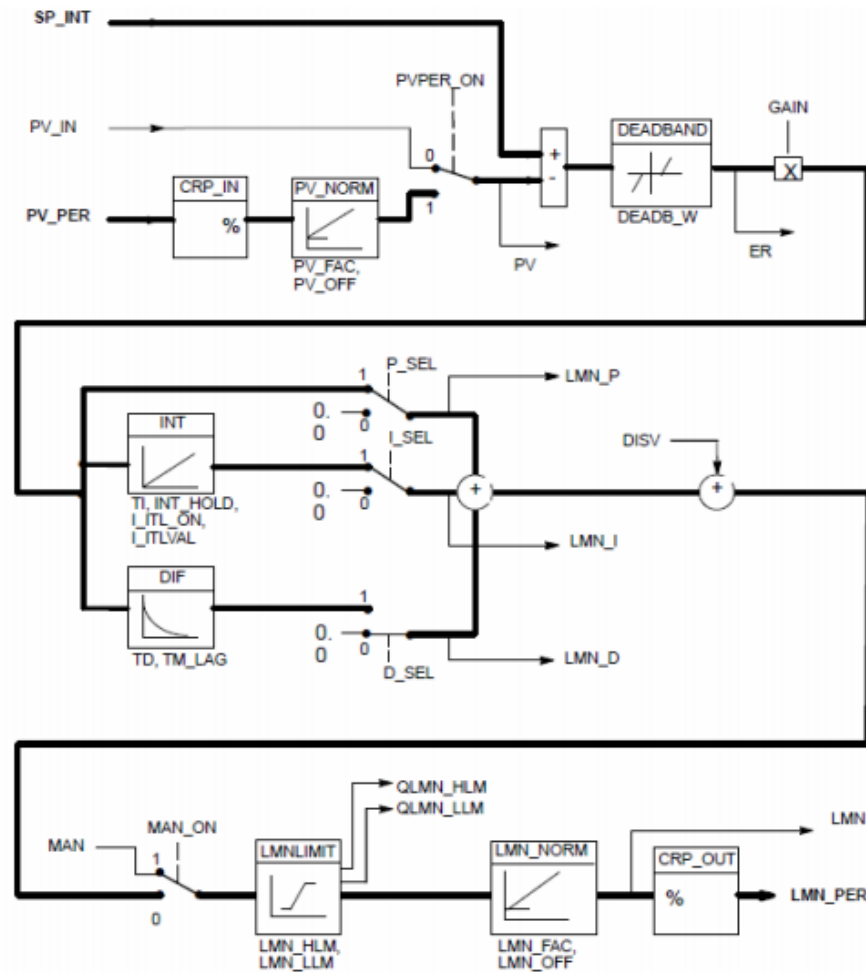


Fig. 4.10 Diagrama de bloques del regulador PID (FB 41)
 Fuente: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/1979/1/pfc3523.pdf> pag 72

En este esquema de bloques, pueden identificarse los siguientes bloques y señales que se describen a continuación:

4.8.1 Rama de valor de consigna: SP_INT el valor de consigna que se introduce en formato en coma flotante (García 2010).

4.8.2 Rama de valor real: El valor real puede ser leído en formato de periferia y en formato en coma flotante (García 2010). El bloque CRP_IN transforma el valor de periferia PV_PER en un formato en coma flotante de -100 ... +100%, según la fórmula siguiente:

$$\text{CPR_IN} = \text{PV_PER} * (100/27648)$$

Form. #4

La función PV_NORM normaliza la salida de CPR_IN según la fórmula siguiente:

$$\text{PV_NORM} = \text{CPR_IN} * \text{PV_FAC} + \text{PV_OFF}$$

Form. #5

El valor por defecto de PV_FAC es 1 y el de PV_OFF ES 0, según la figura 4.11.

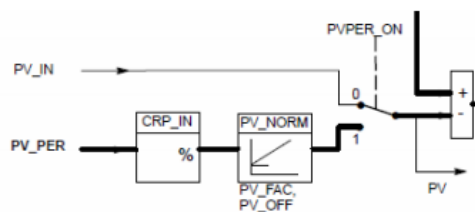


Fig.4.11 Regulador PID, rama de valor real.

Fuente: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/1979/1/pfc3523.pdf> pag 73

4.8.3 Formación del error de regulación: La diferencia entre el valor de consigna y el valor real es el error de regulación. Para suprimir la pequeña oscilación permanente debida a la cuantificación de la magnitud manipulada del error de regulación se hace pasar por una zona muerta (**DEADBAND**). Cuando DEADB_W = 0, la zona muerta esta desconectada, (García 2010), según la figura 4.12.

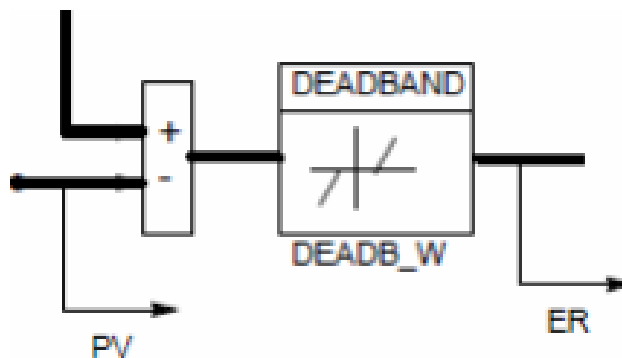


Fig. 4.12 Regulador PID, Error de regulación

Fuente: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/1979/1/pfc3523.pdf> pag 74

4.8.4 Algoritmo PID: El algoritmo PID trabaja en el algoritmo de posición. La acción proporcional (GAIN), integral (INT) y derivativa (DIF) están conectadas en paralelo y pueden conectarse y desconectarse individualmente. De esta forma pueden parametrizarse reguladores P, PI, PD y PID. Pero también son posibles reguladores I puros (García 2010).

Estos controladores son utilizados dependiendo de la necesidad y de cómo se establezcan los procesos que deseamos utilizar, siendo en la actualidad el más utilizado el PID en los procesos de lazo cerrado, llegando a ser el que se genera mayor estudio por su gran precisión y gran utilidad que este emplean en los sistemas de producción (García 2010). Según la figura 4.13.

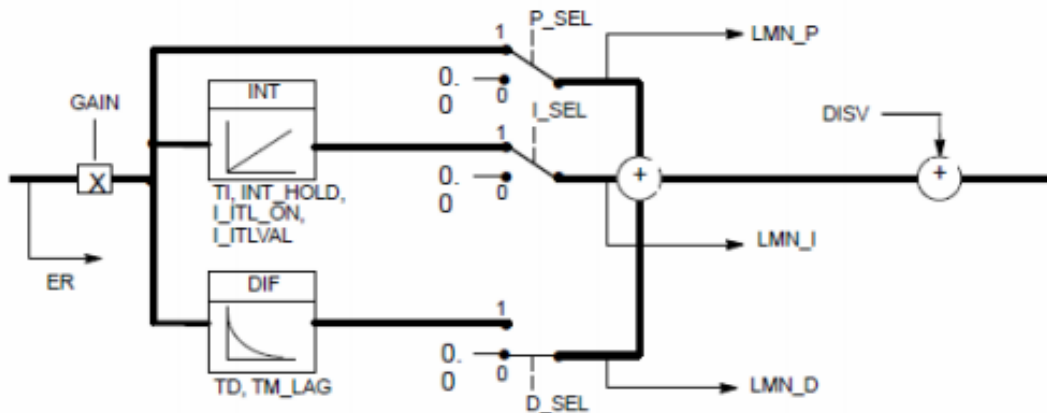


Fig.4.13 Regulador PID, Algoritmo

Fuente: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/1979/1/pfc3523.pdf> pag 74

4.8.5 Procesamiento de valores manuales: Es posible conmutar entre modo manual y modo automático. En el modelo manual, la magnitud manipulada sigue a un valor ajustado manualmente (García 2010).

Para conmutar al modo automático sin cambios bruscos, el integrador (INT) se pone internamente a $LMN - LMN_P - DISV$ y el diferenciador (DIF) se pone en 0 y se compensa internamente (García 2010).

4.8.6 Procesamiento de valores manipulados: El valor manipulado se limita con el bloque LMNLIMIT a valores prefijales. La superación de los límites por parte de la magnitud de entrada se señala mediante **bits** al efecto (García 2010).

El bloque LMN_NORM normaliza la salida de LMNLIMIT según la fórmula siguiente:

$$\text{LMN} = \text{LMNLIMIT} * \text{LMN_FAC} + \text{LMN_OFF} \quad \text{Form. \#6}$$

El valor por defecto de LMN_FAC es 1 y el de LMN_OFF es 0

JUAN GARCIA (2010) declara que el valor manipulado esta también disponible en formato de periferia, representado en la figura 4.14. La función CRP_OUT transforma el valor en coma flotante LMN en un valor de periferia según la fórmula siguiente:

$$\text{LMN_PER} = \text{LMN} * (100/27648) \quad \text{Form. \#7}$$

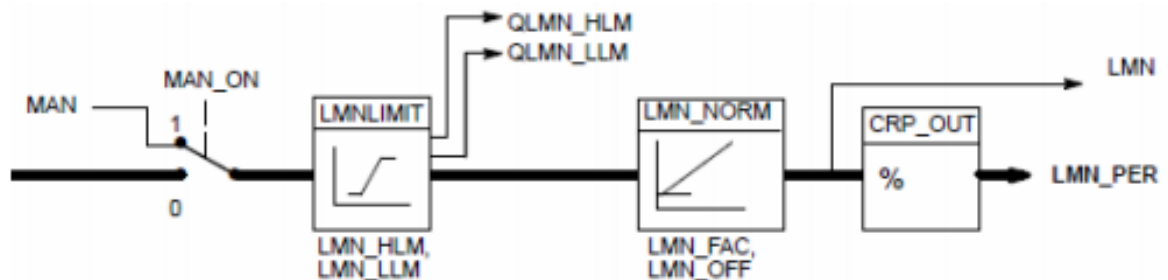


Fig. 4.14 Regulador PID, procesamiento de valores manipulados

Fuente: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/1979/1/pfc3523.pdf> pag 75

4.8.7 Aplicación de magnitud perturbadora (control anticipado): En la entrada DISV pueden aplicarse aditivamente una magnitud perturbadora.

4.8.8 Rearranque completo / Rearranque

El FB “CONT_C” dispone de una rutina de rearranque completo que se ejecuta cuando el parámetro de entrada COM_RST = TRUE (García 2010).

Al arrancar, el integrador se ajusta internamente al valor de inicialización I_{ITVAL} . Si se llama en un bloque de alarma cíclica, continua trabajando a partir de este valor. Todas las demás salidas se ponen a sus valores por defecto (García 2010).

4.9 CARACTERÍSTICAS DE LOS PARÁMETROS EN LOS CONTROLADORES PID

Un controlador proporcional (**Kp**) tendrá el defecto de reducir el tiempo de subida, pero nunca eliminar el error de estado estacionario (García 2010).

Un control integral (**Ki**) tendrá el efecto de eliminar el error de estado estacionario, pero puede que la respuesta transitoria empeore (García 2010).

Un control derivativo (**Kd**) tendrá el defecto de aumentar la estabilidad del sistema, reduciendo el sobrepico, y mejorando la respuesta transitoria (García 2010).

JUAN GARCIA (2010), figura 4.15; declara que los efectos de cada uno de los parámetros de un controlador Kp, Kd y Ki en un sistema realimentado se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 4.1:
Características de los controladores **Kp**, **Ki** y **Kd**

RESPUESTA	Tiempo de subida	Sobrepaso	Tiempo de establecimiento	ERROR
Kp	Disminución	Aumento	Pequeños cambios	Disminución
Ki	Disminución	Aumento	Aumento	Eliminado
Kd	Pequeños cambios	Disminución	Disminución	Pequeños cambios

Fig. 4.15 Características de tipo de controladores

Fuente: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/1979/1/pfc3523.pdf> pag 85

Hay que tener en cuenta que estas características están relacionadas, ya que Kp, Ki y Kd son dependientes el uno del otro. De hecho, el cambio de una de estas variables puede

cambiar el efecto de las otras dos. Por esta razón la tabla solo se debe utilizar como referencia cuando estén determinados los valores de K_i , K_p y K_d , (García 2010).

4.9.1 Sintonía de los parámetros del PID con S7

Existen numerosos métodos para la sintonización de los parámetros del regulador PID pero sin duda los más adecuados son los algoritmos adaptados al propio software del PLC, en la gama Simatic encontramos como algoritmo de sintonía PID Self-Tuner con la función “**TUNING_C**”, (García 2010).

Con este algoritmo se consigue ajustar el lazo de regulación en un primer ajuste completo online, aso como ajuste de regulación de temperatura, nivel y caudal, es compatible con las CPU 313 o superiores, (García 2010).

4.10 PID SELF-TUNER TUNING_C

JUAN GARCIA (2010) informa que los bloques de función tienen los modos de operaciones siguientes:

- Ajuste inicial online del regulador PID actuando en un proceso desconocido. Excitando mediante escalón de consigna.
- Adaptación online del regulador PID actuando en un proceso ajustado por primera vez. Reoptimización utilizando escalones de consigna sensiblemente inferiores.
- Conmutación de estructura en reguladores PID con escalones de consigna positivos. Para evitar rebases al calentar sistema regulados en temperatura.
- Modo manual para el control manual del regulador.

4.10.1 FB “TUNING_C” sintoniza automáticamente un controlador de PID continuo.

JUAN GARCIA (2010) expone que esta función no se encuentra en la librería estándar

de **step 7**, sino que hay que instalarla como una librería adicional. Los requisitos del proceso son los siguientes:

- El proceso debe ser estable con una repuesta asintótica
- Una sola variable controlada
- La ganancia no debe ser demasiado elevada
- Adecuada calidad de las señales medidas

Los cambios de punto de trabajo y los ligeros cambios en el comportamiento del proceso mostrados en la figura 4.16, pueden ser optimizados online. Si hay un cambio positivo en el punto de ajuste, puede ajustarse un sobrepaso máximo que puede evitar situaciones de riesgo para el proceso (García 2010). Los requisitos de la CPU son los siguientes:

Tabla 4.2:
Característica de CPU para la FB “TUNING_C”

Memoria requerida	Memoria de carga	Memoria de trabajo
Espacio ocupado por FB en memoria	aprox. 6542 bytes	aprox. 5956 bytes
Espacio ocupado por DB en memoria	644 bytes	294 bytes
Tiempos de ejecución		
en S7-300	1,0 ... 1,5 ms	
en S7-400	0,06 ... 0,19 ms	

Fig. 4.16 Característica de CPU para la FB “TUNING_C”
Fuente: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/1979/1/pfc3523.pdf> pag 87

4.11 MATLAB

Luis Rodríguez (2007) plantea que, **MATLAB** (Matrix Laboratory) es un programa interactivo de uso general. Es un instrumento computacional simple, versátil y de gran poder para aplicaciones numéricas, simbólicas y graficas, la cual contiene una gran

cantidad de funciones predefinidas para aplicaciones en ciencias e ingeniería. La interacción se realiza mediante instrucciones (denominadas comandos), y también mediante funciones y programas en un lenguaje estructurado. Los objetos básicos con los cuales opera **MATLAB** son matrices. La asignación de memoria a cada variable la realiza **MATLAB** en forma dinámica y eficiente, por lo que son necesarias las declaraciones de variables antes de su uso.

Javier Ramírez (2012) declara que **MATLAB** es un lenguaje de alto nivel para realizar cálculos científicos – técnicos. La cual integra herramientas de cálculo necesarias con otras de visualización así como, un entorno de programación de fácil uso, proporciona unos paquetes de extensión (**toolboxes**) para aplicaciones específicas, estos paquetes incluyen librerías de funciones **MATLAB** para resolver problemas específicos como en este caso **PID**; logrando obtener ciertas aplicaciones.

4.12 APLICACIONES DE MATLAB

- Cáculo matemático
- Desarrollo de algoritmos
- Adquisición de datos
- Modelado, simulado y prototipo
- Análisis de datos y visualización
- Gráficos
- Desarrollo de aplicaciones e interfaces graficas de usuario (**GUI**)

4.13 CARACTERISTICAS DE MATLAB

- 1) Calculo numérico rápido y con alta precisión
- 2) Capacidad para manejo matemático simbólico
- 3) Funciones para graficacion y visualización avanzada
- 4) Programación mediante un lenguaje de alto nivel
- 5) Soporte para programación estructurada y orientada a objetos
- 6) Facilidades básicas para diseño de interfaz grafica

- 7) Extensa biblioteca de funciones
- 8) Paquetes especializados para algunas ramas de ciencias e ingenierías

4.14 OPERACIÓN

- Simple y eficiente
- Interactivo y programable
- Sistema de ayuda en línea
- Interacción con otros entornos

4.15 USO DE MATLAB

El entorno de **MATLAB** está organizado mediante ventanas. Las principales son:

- a) **Command Window** Es la ventana de comandos para interactuar con **MATLAB**.
- b) **Command History** Contiene el registro de los comandos que han sido ingresados.
- c) **Workspace** contiene la descripción de las variables usadas en cada sesión.

Se sugiere al inicio dejar activa únicamente la ventana de comandos, cerrando las otras ventanas. Para restaurarlas use la opción **view** de la barra de herramientas de **MATLAB**.

Ante esta problemática debemos realizar un modelado de nuestro estudio del control de la válvula proporcional, planteando nuestras variables y formando una ecuación; la misma que nos permitirá someterla a un **MODELO MATEMATICO** y así poder representarlo en **MATLAB**.

Esta herramienta es aplicada en grandes sistemas y de gran ayuda para todo tipo de profesional en ingeniería, investigación, etc. para este estudio lograremos utilizar la herramienta que se encuentra en **MATLAB** llamada **SIMULINK**

4.16 SIMULINK

Javier Ramírez (2012) informa que **SIMULINK** es una herramienta para modelado, simulación y análisis de sistemas dinámicos según la figura 4.17; la misma que se basa en la utilidad de sistemas físicos para convertirlo en una función la cual pueda declarar el control de dicha planta a utilizar, dicha herramienta soporta sistemas lineales como no lineales:

- En tiempo continuo
- Muestreados
- Híbridos
- Sistemas multifrecuencia (contienen sistemas muestreados a diferente frecuencia)

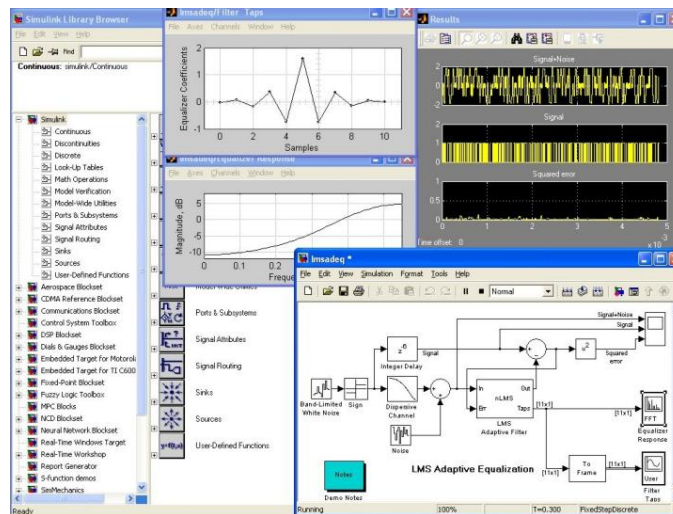


Fig.4.17 Grafica de un ejemplo herramienta SIMULINK

Fuente:http://www.ugr.es/~javierrp/master_files/Seminario%20de%20Matlab.pdf pag 72

Esta grafica 4.18 nos muestra de cómo **SIMULINK** da estas facilidades de trabajar por medio de bloques que ya se encuentran en las librerías de dicha herramienta, simulando dichas ecuaciones y graficándolas, a su vez podemos determinar los verdaderos puntos

de control de nuestro ejercicio planteado, logrando así poder encontrar valores que teóricamente es un poco extenso y de manera usual difíciles de graficar.

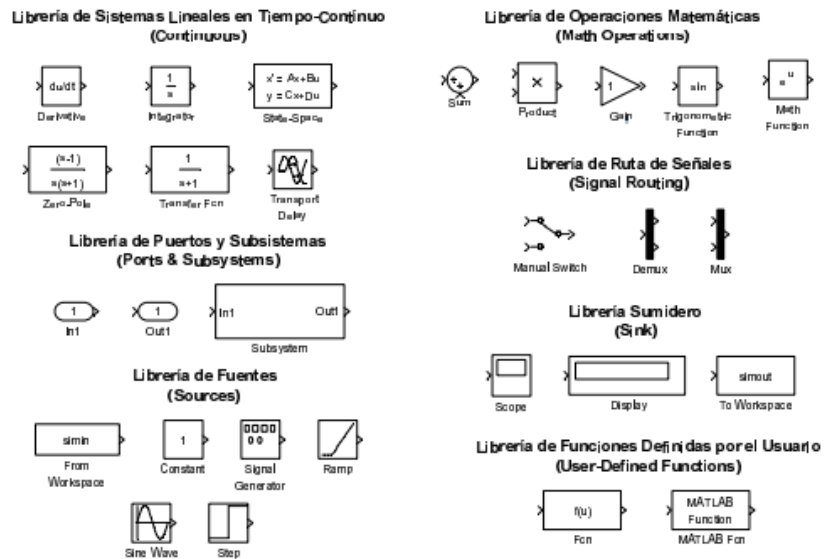


fig. 4.18 Bloques principales

Fuente: https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2011/493/46447/1/Documento1.pdf pag 8

Cada uno de estos bloques podrán ser configurados por el alumno dependiendo de las exigencias del problema que se pretenda resolver mediante la ventana de dialogo de configuración de cada bloque.

4.17 LIBRERÍA DE SISTEMAS LINEALES EN TIEMPO-CONTINUO

En este apartado se describirán los bloques para implementación lineales en tiempo-continuo comúnmente utilizados en la asignatura.

4.18 BLOQUE DERIVATIVE

El bloque derivative aproxima la derivada de su entrada considerando los valores iniciales de la salida igual a 0. La exactitud de los resultados depende del tamaño del periodo de muestreo utilizado en la simulación, según la figura 4.19. Pequeños pasos de muestreo permiten obtener una curva de la salida más suave y exacta.

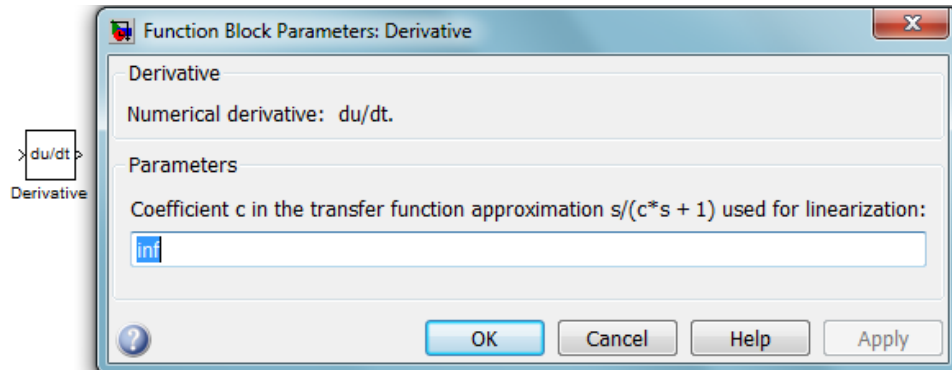


Fig. 4.19 Bloque derivativo, parámetros de bloque – condición inicial (MATLAB R2012a – SIMULINK)
Fuente: Autor (José Rivera)

4.19 BLOQUE INTEGRADOR

El bloque integrador integra su entrada. Los resultados de la integración van a depender del método de integración que se seleccione en el menú ya que al acceder mediante la opción marcada como parámetros de simulación. La entrada de este bloque es la derivada en el tiempo del estado. El algoritmo de integración seleccionado calcula la salida del bloque integrador en el periodo de muestreo actual usando el valor de entrada actual y del paso anterior. El bloque también provee una opción de condición inicial que permite configurar el estado inicial. Según la figura 4.20.

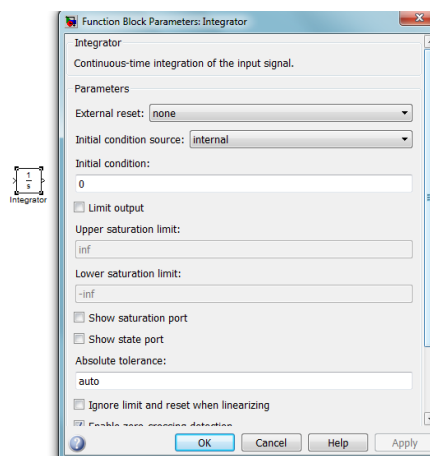


Fig. 4.20 Bloque integrador, parámetros de bloques – condición inicial (MATLAB R2012a – SIMULINK)
Fuente: Autor (José Rivera)

La ventana de dialogo function block parameter permite especificar valores para la condición inicial. Esta ventana también permite especificar límites inferiores y superiores para la integración. El resto de parámetros y configuraciones de este bloque no serán necesarios para esta asignatura.

4.20 BLOQUE DE FUNCION DE TRANSFERENCIA

El bloque “**transfer Fcn**” implementa una función de transferencia con la entrada y la salida $Y(s)$, como se muestra a continuación:

$$G(s) = \frac{U(s)}{Y(s)} = \frac{\text{num}(s)}{\text{den}(s)} \quad \text{Form. \#8}$$

Asumiendo un sistema de primer orden con un polo en $s = -10$ y un zero en $s = -2$ modelado por la función de transferencia:

$$G(s) = \frac{U(s)}{Y(s)} = \frac{s}{s + 1} \quad \text{Form. \#9}$$

Este modelo se programa utilizando el bloque “**transfer Fcn**”, a través de la ventana de dialogo presentada en la figura 4.21 de bloque de transferencia, la misma que determina que el numerador [1] y el denominador es [1 1].

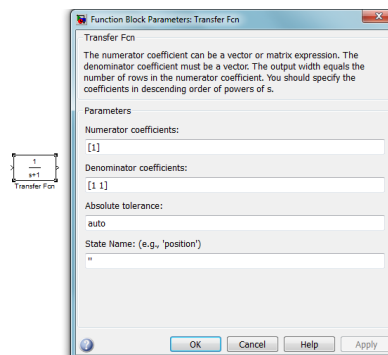


Fig. 4.21 Bloque función de transferencia, parámetros de bloques – condición inicial (MATLAB R2012a – SIMULINK)

Fuente: Autor (José Rivera)

4.21 BLOQUE STATE-SPACE

El bloque state-space implementa un sistema definido a través de ecuaciones en el espacio de estados. Como vemos en la figura 4.22

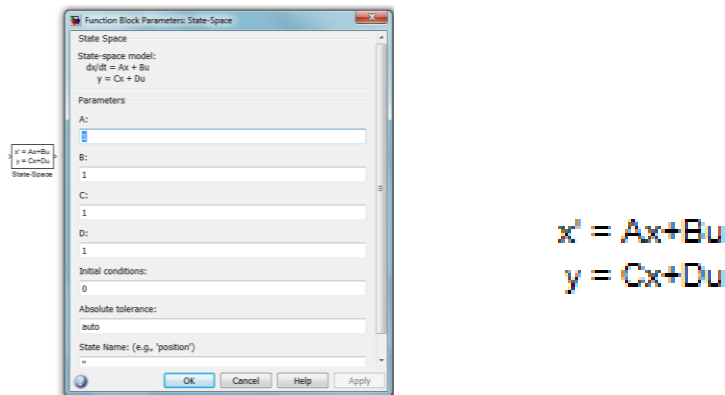


Fig. 4.22 Bloque STATE-SPACE, parámetros de bloques – condición inicial (MATLAB R2012a – SIMULINK)

Fuente: Autor (José Rivera)

Donde x y u son vectores columna, la matriz A debe ser definida cuadrada $n \times n$, con n siendo el número de estados del sistema, la matriz B debe de ser definida con dimensión $n \times m$, con m siendo el número de entradas, la matriz C es definida con dimensión $r \times n$, donde r represente el número de salidas, y la matriz D posee dimensión $r \times m$.

4.22 BLOQUE SCOPE

Es el que representa gráficamente la entrada conectada a este bloque con respecto al tiempo de simulación. Este bloque permite representar varias variables a la vez para el mismo periodo de tiempo. El “**Scope**” permite ajustar el tiempo y el rango de los valores de entrada presentados. Se puede mover y redefinir el tamaño de la ventana “**Scope**” y se puede modificar los valores de sus parámetros durante la simulación.

Si la señal de entrada al bloque “**Scope**” está formada por varias variables (en lugar de vector es una matriz), este asigna colores a cada elemento de la señal en el siguiente orden: amarillo, magenta, cian, rojo, verde y azul oscuro. Cuando la señal posee más de

seis elementos, se repite el orden de los colores. Se pueden ajustar los límites del eje –y pulsando el botón derecho sobre la grafica y seleccionando le opción “*Axis Properties*”. La ventana del bloque “**Scope**” posee varios iconos en la barra de herramienta que permiten realizar “zoom” en la grafica 4.23, preservar las configuraciones de los ejes para la simulación siguiente, limitar los datos presentados y guardar los datos en el espacio de trabajo. Entretanto el icono con mayor utilidad es el denominado “*Parameters*”. Si se pulsa este botón, la primera pestaña que aparece es la de los parámetros generales.

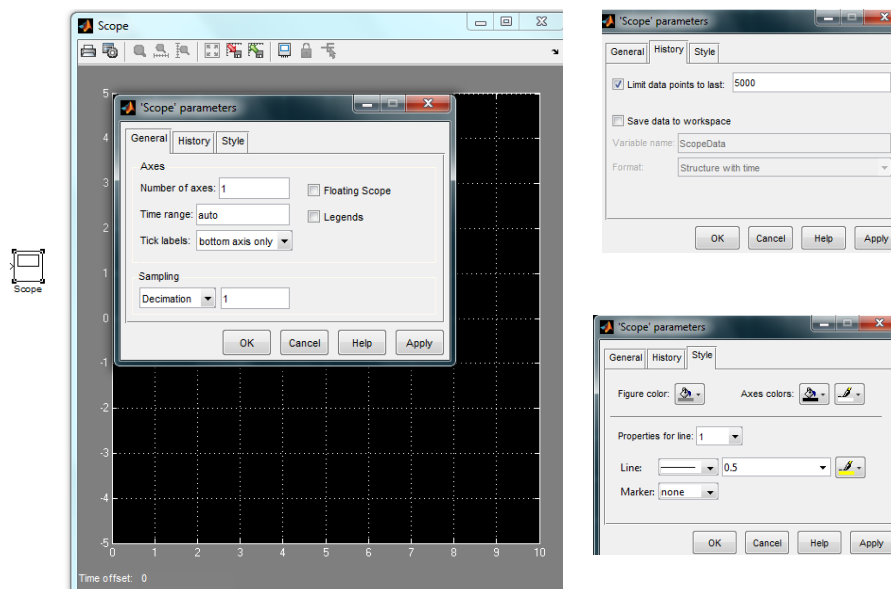


Fig. 4.23 Bloque Scope, parámetros de bloques – condición inicial (MATLAB R2012a – SIMULINK)
Fuente: Autor (José Rivera)

A través de este cuadro de dialogo es posible también guardar los datos de las variables representadas en el espacio de trabajo del programa **MATLAB**. En la opción “Variable name” se define el nombre de la variable y el “Format” se configura el formato con él se guardarán los datos: “Structure with time”, “Structure Array”. Por ejemplo si se coloca en “Array” los datos serán guardados en una matriz, donde en la primera columna se

almacenan el vector del tiempo de simulación, y de la segunda Columna el vector de la señal de entrada del bloque.

4.23 BLOQUE STEP

El bloque “*Step*” genera un escalón entre dos niveles definidos en un espacio de tiempo por especificado. Si el tiempo de simulación es menor que el valor del parámetro “*Step time*”, la salida del bloque será el valor del parámetro “*initial value*”. Para tiempos de simulación mayores o iguales que el valor de “*Step time*”, la salida es el valor del parámetro “*Final value*”.

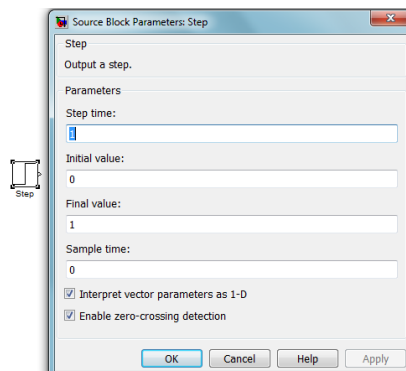


Fig. 4.24
Bloque Step, parámetros de bloques – condición inicial (MATLAB R2012a – SIMULINK)
Fuente: Autor (José Rivera)

4.24 BLOQUE SUM

El bloque “sum” es la implementación del bloque suma. Este bloque realiza las raciones de adición o sustracción de sus entradas, pudiendo sumar o sustraer entradas escalares, vectoriales o matriciales.

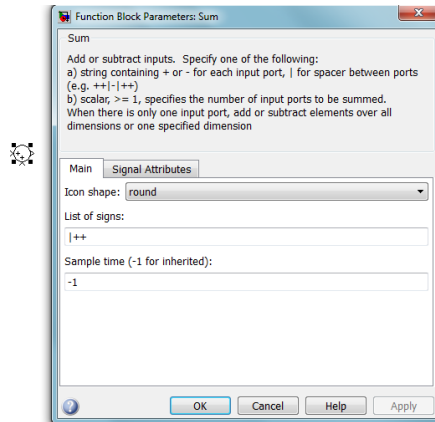


Fig. 4.25 Bloque Step, parámetros de bloques – condición inicial (MATLAB R2012a – SIMULINK)
Fuente: Autor (José Rivera)

Se puede también sumar los elementos de un único vector entrada. Las operaciones del bloque son definidas en el parámetro “*List of Sign’s*” mas (+), menos (-) y separador (|). el separador crea un espacio extra entre puertos en el icono del bloque. La forma del icono se puede definir como redonda o rectangular (del ingles *round* o *rectangular*) a través del parámetro “Icon shape” en la ventana de dialogo de parámetros. Si hay dos o más entradas, el número de operaciones de suma o resta debe ser igual al número de entradas.

4.25 BLOQUE GAIN

El bloque “*gain*” multiplica la entrada por un valor constante (ganancia). La entrada y la ganancia pueden ser un escalar, un vector o una matriz. El valor de la ganancia se especifica a través de parámetros “*Gain*”. El parámetro “*Multiplication*” determina si la multiplicación es matricial o elemento a elemento. El orden de las multiplicaciones en las operaciones matriciales es configurado a través de estos parámetros; este bloque representa muchas ocasiones el controlador Proporcional P. según muestra la figura 4.25.

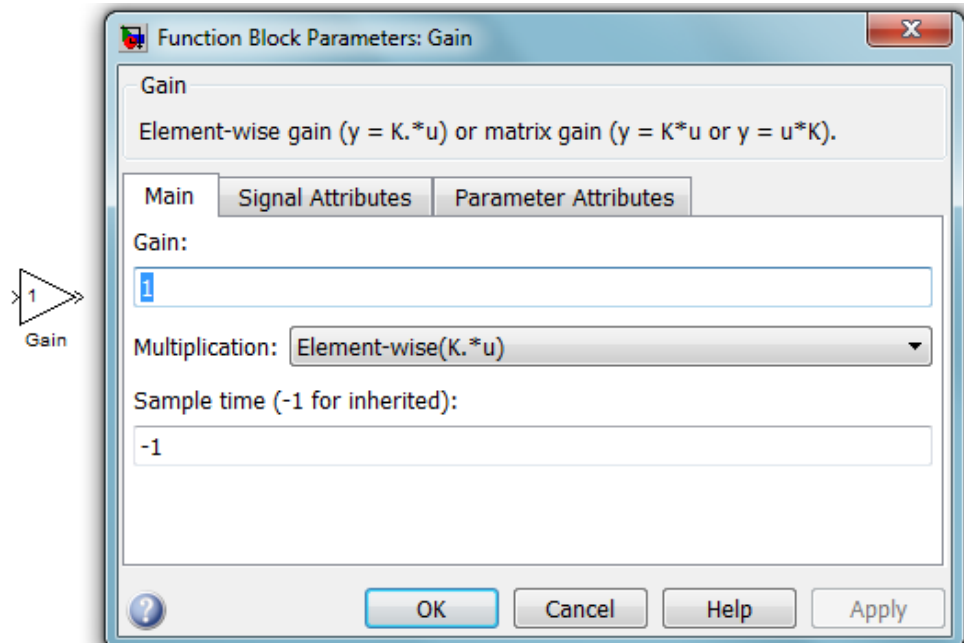


Fig. 4.26 Bloque Gain, parámetros de bloques – condición inicial (MATLAB R2012a – SIMULINK)

Fuente: Autor (José Rivera)

CAPITULO 5

DESARROLLO DEL ESTUDIO DEL PROYECTO

En las industrias plásticas de nuestro país se ha generado un gran crecimiento en la producción de productos plásticos, los mismos que han desempeñado una alta tasa de empleo y productividad en el sistema laboral.

Muchas de estas empresas tienen como medio de producción máquinas inyectoras, sopladoras, extrusoras, etc... Las mismas que se identifican por su gran productividad y la dimensión requerida en la demanda a entregar.

Las máquinas inyectoras sin duda han ocupado el porcentaje más alto de utilización para este medio de producción, promoviendo grandes ganancias aunque su producto de elaboración no sea de grandes diámetros, muchas de ellas se identificarían por medidas como la tonelada, la cual es fabricada dependiendo la demanda o producto final a elaborar; creando así una gran importancia para este medio laboral. Es así, que el interés de estudio de dicho equipo se está volviendo de gran importancia ya que existe cada vez más empresas con dichas ocupaciones productivas.

Tabla 5.1:
Países de fabricación de máquinas inyectoras de mayor productividad

PAIS	MAQUINA
Canadá	HUSKY INJECTION MOLDING
Estados Unidos	CINCINATI MILACRON
Italia	SANDRETTO SERIE OTTO
China	HAITIAN

Fuente: Autor (José Rivera)

Volcando al medio internacional e fabricante a exponer la fabricación de dichas maquinas, cada vez mas solidas en tecnología, pero; mas sin embargo la competencia de la productividad de la misma es cada vez más grande, importando en nuestro medio industrial producción de maquinas inyectoras de tecnología como:

Siendo estas marcas las más adquiridas en nuestro país, viéndose una gran competencia en el mercado industrial plástico, pero como nuestro medio no es tan exigente en la compra de maquinas de calidad, muchas de ellas vienen siendo usadas desde otro país el cual traen tecnología muy antigua o a su vez, son nuevas pero no tienen una tecnología que de garantía del producto final, ya que muchas de estas maquinas no tienen un PLC de alta jerarquía, puesto a aquello se ha evidenciado que la productividad de la maquina se mantenga en un porcentaje más bajo de lo normal. Muchas de estas maquinas nuevas con bajo nivel de productividad son las maquinas de productividad china, maquinas de tecnologías viejas (la cual su tecnología es de MAINBOARD, no MODULAR como el PLC); Este tipos de maquinas son de mayor adquisición en nuestros medios, por sus bajos costos y su repuestos muy económicos.

5.1 VENTAJAS DE MAQUINAS DE BAJO NIVEL DE PRODUCCION

- Costo de compra totalmente económico con relación a las otras marcas
- Costo de repuesto barato
- No se requiere capacitar al personal mantenimiento

5.2 DESVENTAJAS DE MAQUINAS DE BAJO NIVEL DE PRODUCCION

- Tiempo de vida útil de sus actuadores muy bajo
- Sistemas de control no competentes (la mínima perturbación lo descontrola), siendo muchos de ellos analógicos.
- Sistemas de comunicación (HDMI) no amigables, analógicos.
- Consumo de energía muy alto

Mientras que las de marcas muy reconocidas, mantienen un valor muchas veces más elevado que las nombradas anteriormente, pero con ventas muy favorables como:

5.3 VENTAJAS DE MAQUINAS DE ALTO NIVEL DE PRODUCCION

- Sistemas de control sólidos (no se descontrolan con cualquier perturbación)
- Tiempo de vida útil de sus actuadores muy alto
- Consumo de energía muy bajo
- Sistemas de comunicación (HDMI) muy amigables

5.4 DESVENTAJAS DE MAQUINAS DE ALTO NIVEL DE PRODUCCION

- Se requiere tener personal capacitado para su mantenimiento
- Costo elevado de la maquina
- Repuestos no fácil de encontrar en el mercado nacional.

5.5 UTILIZACION DE MATLAB PARA NUESTRO ESTUDIO

Para poder evitar este tipo de problemas, se genera un control por medio de la herramienta de **MATLAB** la misma que nos permite verificar el controlador necesario para poder establecer una estabilidad en el sistema requerido. Se establecerán en este estudio parámetros de control de un controlador **PID** desde la herramienta **MATLAB** para poder sostener una mejora en dicha repuesta en relación al tiempo, la misma que nos garantizaría poder tener parámetros que cumplan en dicho controlador para nuestro sistema.

La válvula proporcional es la que realiza el control de presión o velocidad del fluido del sistema hidráulico, necesario para poder equilibrar el sistema y no tener problemas con los actuadores o daños permanentes, pero esta requiere de un controlador, en este caso el más utilizado en los sistemas de control de procesos industriales **PID**; el controlador debe tener como repuesta una señal que le informe lo que debe estabilizar, este trabajo lo realiza el sensor ya sea un transductor de presión o de velocidad; los mismo que pueden identificar las perturbaciones del sistemas y informarles al controlador si este está

cumpliendo con lo requerido. Así se cumple con los sistemas de control de lazo cerrado, para un sistema automatizado de control en procesos industriales. Tal como se muestra en la figura 5.1.

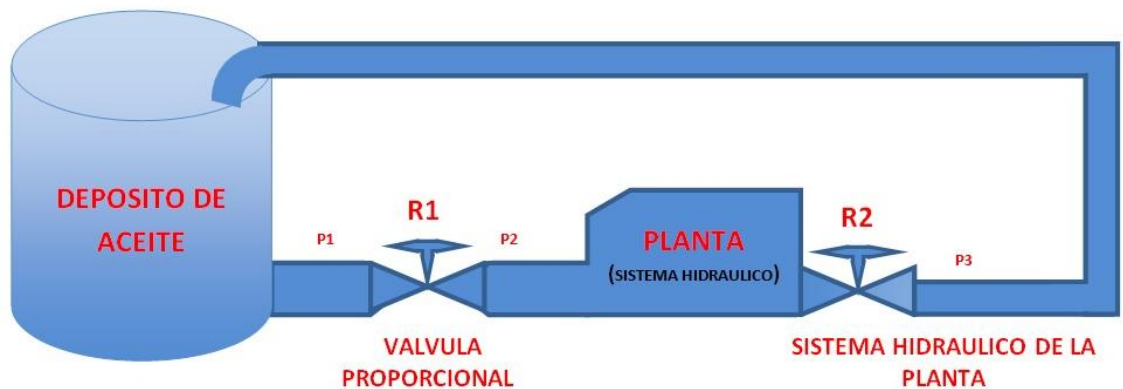


Fig. 5.1 Representación del esquema de la planta
Creado por: José Rivera Chávez

Identificando el gráfico anterior podemos verificar el estado de nuestro estudio y de cómo se podría estar planteando de manera estable dentro de los parámetros iniciales, donde el sistema se mantiene equilibrado y podemos identificar que las perturbaciones de nuestro sistema aun serían nulas.

Podremos deducir por el momento los siguientes parámetros de nuestro estudio:

Tenemos una planta estable donde las presiones de ingreso son idénticas a la de la salida manteniendo un control en el sistema, deduciendo que:

El área del depósito o tanque de aceite de la máquina, y el sistema de nuestra planta (actuadores, cañerías, filtros, etc.) son de la misma capacidad donde se distribuye el fluido a controlar, tendremos:

Siendo la R_1 la resistencia que la válvula proporcional mantiene en el sistema hidráulico de nuestra planta, generando un control del fluido dependiendo de nuestra necesidad, en este caso lo que hemos colocado en el SET – POINT.

En representación de las q_i dando el valor al caudal de entrada y q_o caudal de salida de nuestro sistema y por lo consiguiente (p_1 y p_2) la variación de la presión de nuestro sistema, que en este caso representaremos como contenido de nuestro sistema “altura”.

Demostrándola con la formula hidráulica de caída de presión.

$$P_1 - P_2 = R * q \quad \text{Form. \#10}$$

Entonces expondremos que las medidas de presión tienen las unidades necesarias para poder cumplir con el sistema de nuestro estudio.

Teóricamente podemos definir que T_1 es el producto del área de nuestro sistema por la altura que se mantiene nuestro depósito dp_1 dividido en determinado tiempo dt .

Así podemos deducir que tendríamos una q_o que va a depender de la R_1 que ejerza la válvula proporcional en dicho sistema por la variación de la presión de depósito de nuestro sistema (p_1 y p_2).

$$T_1 = A_1 \frac{dp_1}{dt} = q_i - q_1 = q_i - R_1 (p_1 - p_2) \quad \text{Form. \#11}$$

Así obtendríamos nuestra primera formula de nuestro modelo matemático, donde la variación de presión va a depender del control de nuestro sistema, el mismo que es permisible por la válvula proporcional de nuestra planta.

Para el siguiente análisis obtendremos que:

$$T_2 = A_2 \frac{dp_2}{dt} = q_1 - q_2 = R_1 (p_1 - p_2) - R_2 (p_2 - p_3^0) \quad \text{Form. \#12}$$

Para el siguiente análisis podemos observar que tendríamos la misma presión de q_1 que entraría a dicho sistema controlado por la válvula proporcional, obteniendo los mismos valores del análisis anterior.

A su vez notamos que existe una nueva resistencia, la misma que se identifica al sistema hidráulico que mantiene la maquina inyectora, ya que en ello se generan aumento de presiones y velocidades dependiendo las necesidades de dicho proceso, puesto que en este análisis R_2 nos representa a los actuadores, cañerías, motores hidráulicos, válvulas piloto, etc. que tenga nuestra planta a dicho estudio. Evaluando el comportamiento de nuestra planta tendríamos una presión p_2 que varía en la entrada en nuestra R_2 que varía en el ingreso de la misma, siendo la salida de la R_1 ; y otra que al no existir caída de caída de presión p_3 y su retorno de fluido por ende debería ser un retorno al tanque (anunciamos entonces que es = 0) para poder cumplir el ciclo cerrado en este estudio, lazo cerrado.

A estas dos ecuaciones aplicaremos la función de la transformada de Laplace, la misma que nos ayudaría con la formula necesaria para poder aplicar a nuestro sistema un modelo matemático y así poder encontrar nuestros parámetros que representa a la FUNCION de TRANSFERENCIA aplicándola a MATLAB logrando obtener nuestro resultado de control de nuestra planta, la cual hemos llevado a cabo dicho estudio.

$$As * P_1 = q_i - R_1 (P_1 - P_2) \quad \text{para la primera ecuación.} \quad \text{Form. \#13}$$

$$As * P_2 = R_1 (P_1 - P_2) - R_1 (P_2) \quad \text{para la segunda ecuación obtendríamos:} \quad \text{Form. \#14}$$

$$As * P_2 = R_1 P_1 - 2R_1 P_2 \quad \text{despejando tendríamos que} \quad \text{Form. \#15}$$

$$P_1 = \frac{As + 2R}{R} P_2 \quad \text{Form. \#16}$$

Considerando para este estudio que tendremos presiones y resistencia de caudal iguales, así deduciendo que tendríamos una estabilidad en el sistema sin perturbaciones (maquina en vacio), en estos casos de manera técnica es como un precalentamiento del sistema

hidráulico, para obtener la temperatura deseada del aceite o en estado de reposo de la maquina.

Para el resultado de la segunda formula la reemplazaremos en la fórmula 1, donde obtendríamos:

$$As \frac{As + 2R}{R} P_2 = q_i - (As + 2R) * P_2 + RP_2 \quad \text{Form. \#17}$$

$$\left\{ As \left[\frac{As + 2R}{R} \right] + (As + R) \right\} P_2 = q_i \quad \text{Form. \#18}$$

$$\left[\frac{As}{R} + 1 \right] * (As + R) P_2 = q_i \quad \text{Form. \#19}$$

Entonces aplicando la transformada inversa de Laplace en nuestra planta tendremos la siguiente función de transferencia:

$$G = \frac{P_2}{Q_i} = \left[\frac{R}{As + R} \right]^2 \quad \text{Form. \#20}$$

Donde G representaría nuestra planta cuando esta se encuentre estable, donde nosotros podremos identificar, según la teoría de este estudio para poder controlar la presión de la válvula proporcional en nuestros sistemas.

Ahora esta parte del resultado del modelo matemático la llevaremos a la parte de simulación de **MATLAB**, con la herramienta de **SIMULINK**, la misma que nos permitirá poder obtener una estabilidad en el sistema por medio del control del PID, la misma que la mostraremos en la figura 5.2 en un esquema de bloque de un lazo cerrado, realizado en **simulink de MATLAB**, el mismo que nos da la facilidad de realizar este tipo de esquema para poder representarlo y después simularlo en dicho programa.

Para entonces utilizaremos valores en nuestra planta como:

$A_s = 2 \text{ mts}^2$ (área de depósito)

$R = 4$ (valor de retención de caudal del sistema)

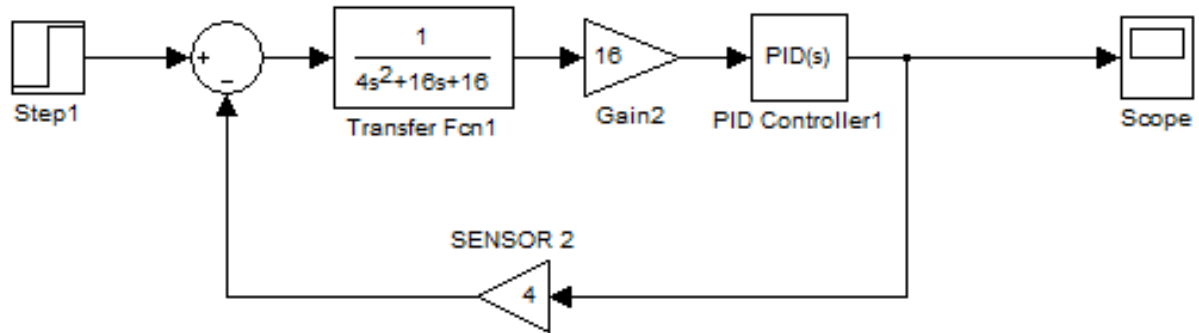


Fig. 5.2 Planta del estudio del modelo matemático de nuestro sistema
Realizado por: JOSE RIVERA MATLAB R2012a

Utilizando una planta donde tendremos un **STEP** con un valor final de **1** y tiempos iniciales desde cero.

Una ganancia que representa al sensor en este caso transductor de presión que podemos asumir que tiene como tiempo de respuesta **4 ms**, lograremos tener una respuesta como la muestra la siguiente figura 5.3, el mismo que nos muestra la simulación de nuestra planta con un control **PID** en estado normal, con valores al azar, en esta grafica podemos observar que el control de nuestra planta empieza aproximadamente desde los **5seg**. En este caso debemos empezar a generar un TUNER PID, la cual nos da la facilidad simulink para poder obtener los valores necesarios de manera automática y poderlos aplicar en un autómata el cual pueda cumplir con nuestras expectativas. Una vez aplicada esta función buscaremos los valores adecuados y la estabilidad de nuestra planta.

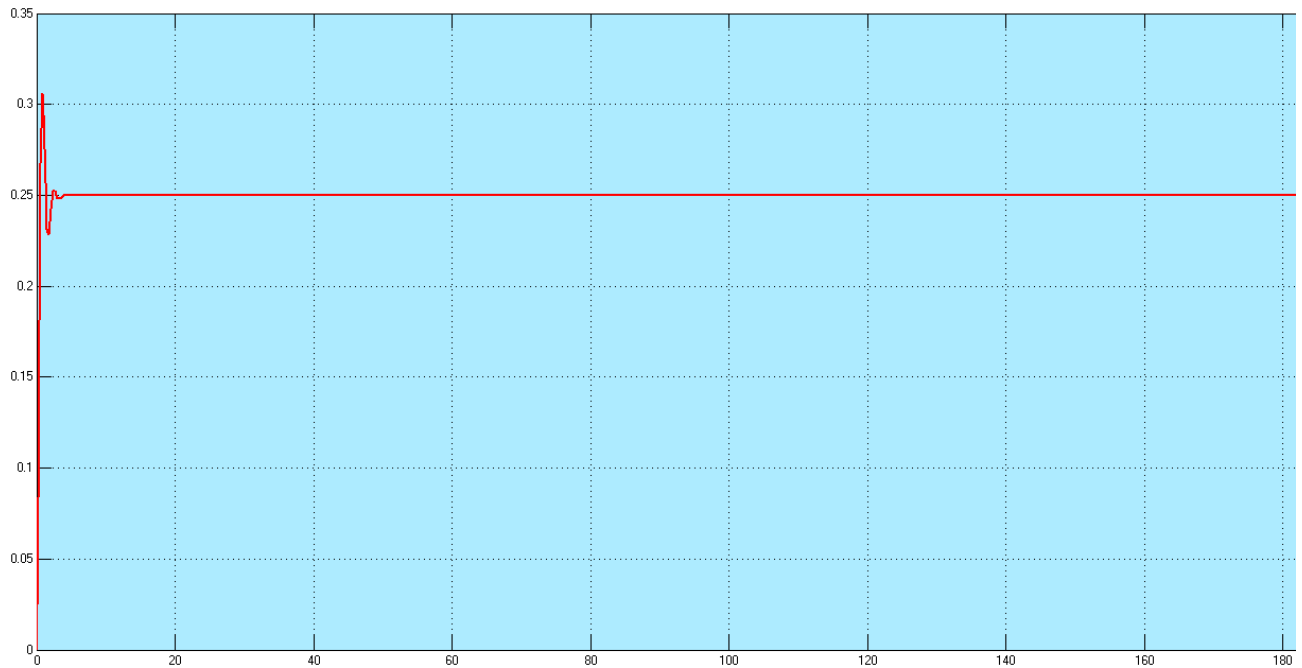


Fig. 5.3 Repuesta de control de nuestra planta
Realizado por: **JOSE RIVERA MATLAB R2012a**

Para aquello hemos utilizado un valor de PID de manera al azar donde podemos ver el control de nuestra planta de manera anormal.

Cuando este aun está controlando nuestra planta de manera que podría mantener nuestro sistema con una repuesta de control no inmediato, para aquello utilizaríamos el **PID tuner** la misma herramienta que me es necesaria para encontrar los valores más indicados y de manera automática para mi sistema, así poder controlarlo y llevar a los valores que me sean de mayor utilidad.

Los valores que se muestran en la figura 5.4 son los iniciales al utilizar el PID del esquema de bloque de lazo cerrado, son valores iniciales los cuales el **PID tuner** empieza su control automático en busca de los valores que puedan dar con la estabilidad de mi planta.

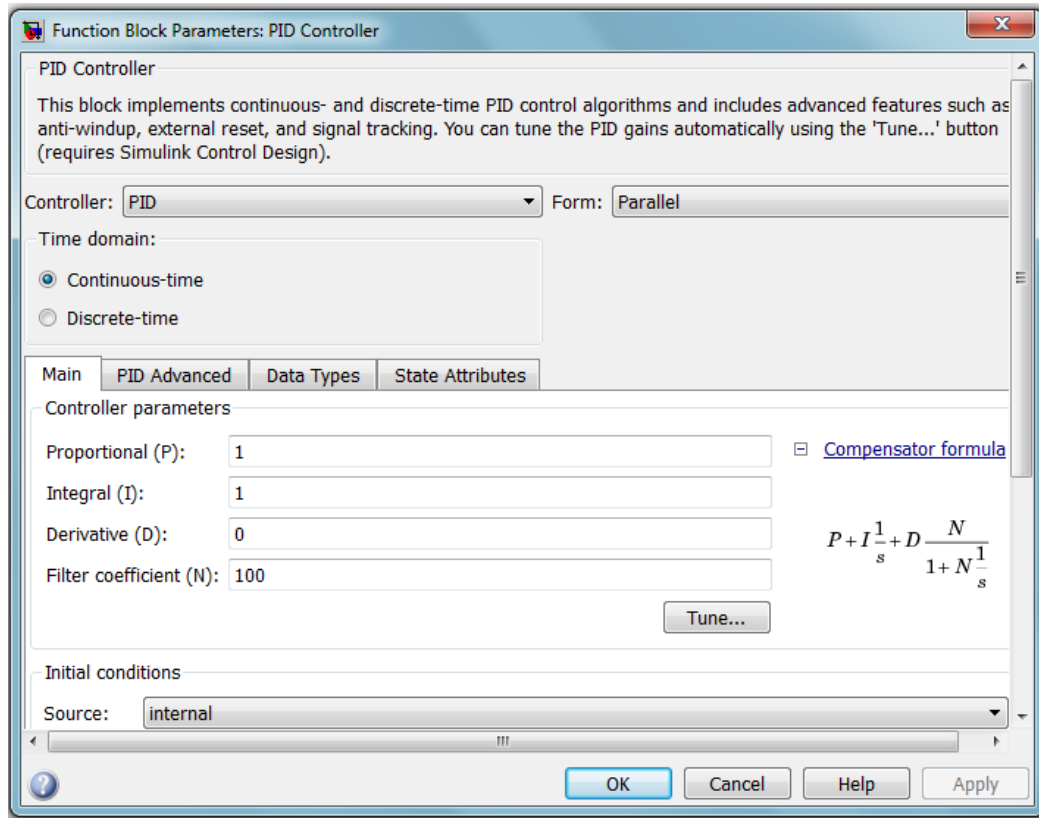


Fig. 5.4 Parámetros de valor inicial de controlador PID
 Realizado por: JOSE RIVERA MATLAB R2012a

Entonces pasaremos a realizar el siguiente paso que es el de generar **Launching PID tuner** en nuestro sistema para poder obtener los valores indicados de control de nuestra planta en estado **vacio** o **manual**, donde las presiones se mantienen sin variar en el sistema.

Donde la misma herramienta de **simulink** busca los valores ideales para poder controlar mi planta, tal como lo demostraremos en la siguiente figura 5.5; el cual está en pleno proceso de búsqueda de los valores que sean los indicados para el control de nuestra planta.

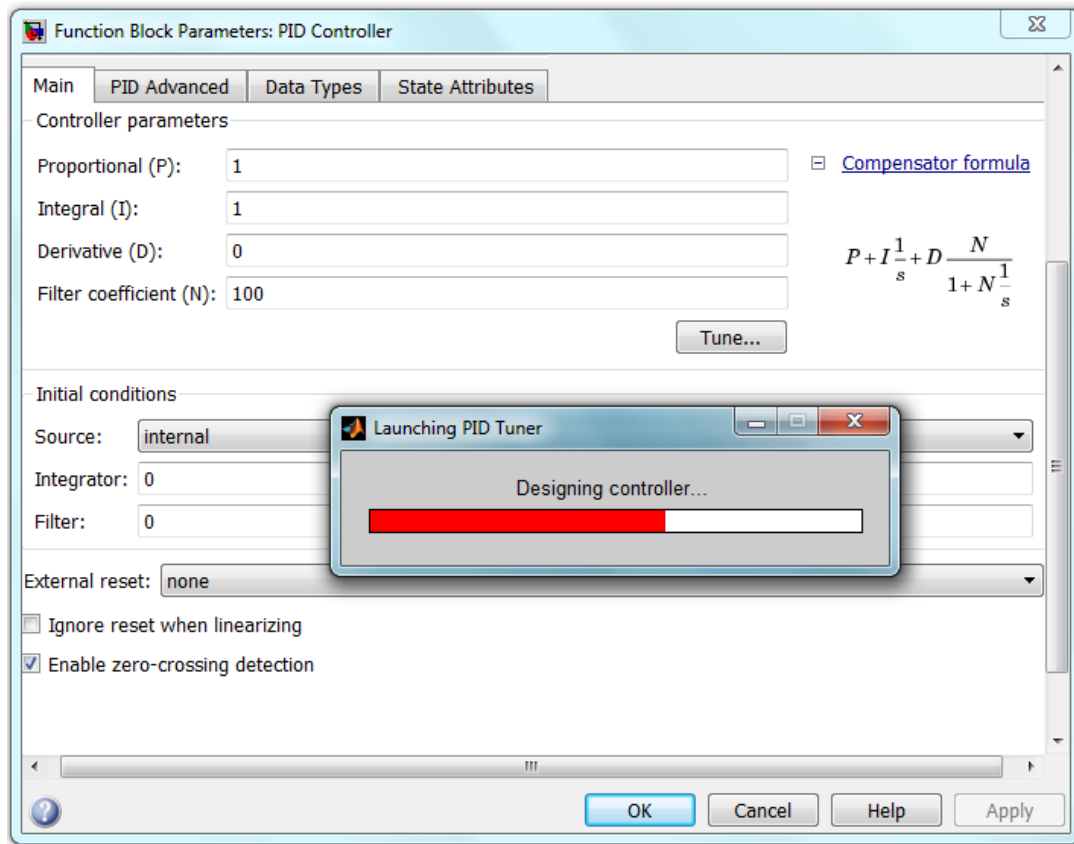


Fig. 5.5 Utilización de TUNER PID (búsqueda de valor ideal)
Realizado por: JOSE RIVERA MATLAB R2012a

Teniendo como repuesta la salida de la curva donde tendríamos que llevarlo al valor más cercano a cero, o sea al control más estable de manera que podamos obtener el valor ideal para el estabilizar el sistema de nuestra planta que es el propósito de nuestro estudio. Podemos ver en las siguientes graficas 5.6 de cómo esta herramienta nos ayuda a encontrar esos valores de manera automática y así lograr obtener el punto indicado de control, establecer valores que son muy difíciles en encontrar como parte teórica, así podemos realizar trabajos de manera rápidas y con valores exactos. Colocando a esta gran herramienta como el mejor soporte para poder encontrar puntos de control en sistemas de cualquier tipo y así estabilizarlos de tal manera que puedan dar la garantía de una mayor eficiencia en nuestro estudio.

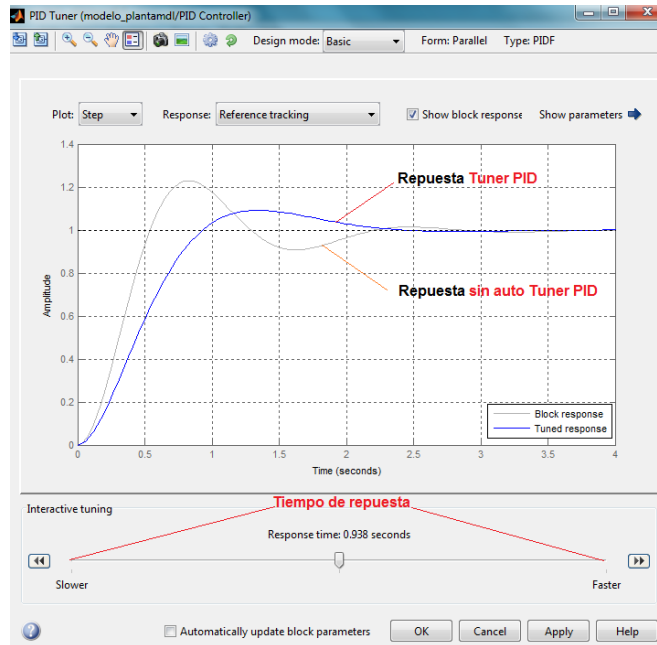


Fig. 5.6 Repuesta de TUNER PID (Representación de curvas – simulación auto)
 Realizado por: JOSE RIVERA MATLAB R2012a

En esta grafica 5.7 vemos como los valores aparecen de manera automática en nuestro controlador **PID**, estos son los valores que representan el control de nuestra planta el cual nos demostrara la estabilidad del sistema, valores requeridos para poder aplicarlos a un autómeta.

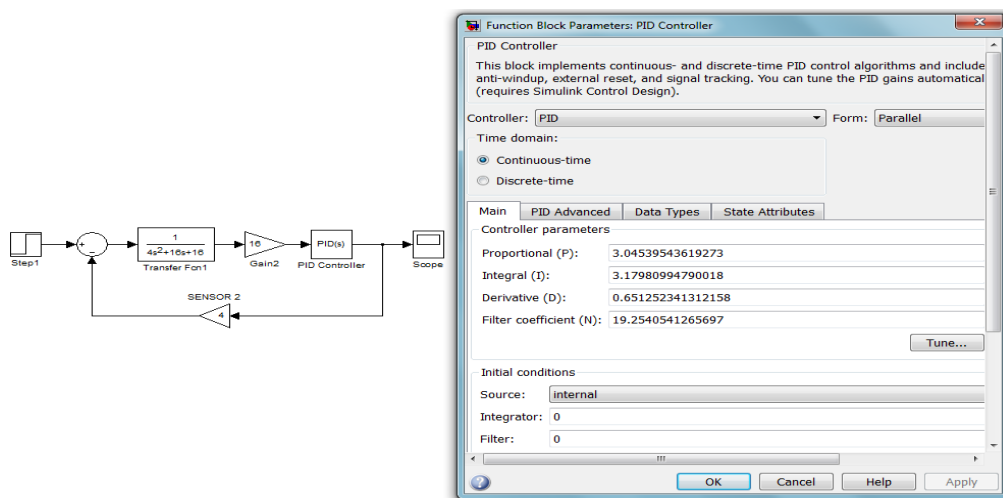


Fig. 5.7 TUNER PID (Valores auto)
 Realizado por: JOSE RIVERA MATLAB R2012a

Una vez realizado el **auto – tuner PID** de esta planta podemos demostrar que los valores de control llegarían a su posición ideal, las que son adecuadas a nuestra necesidad, en la cual es necesaria para llevar a cumplir nuestros objetivos de estudio. Viendo la figura 5.8 que representa el valor del control estable de nuestra planta que es de menos de un segundo, aproximadamente **1seg.** pero este comportamiento de nuestra planta es de manera estable, en caso de cuando la maquina se encuentre en estado pasivo. Donde las presiones son iguales, considerando que el sistema es estable.

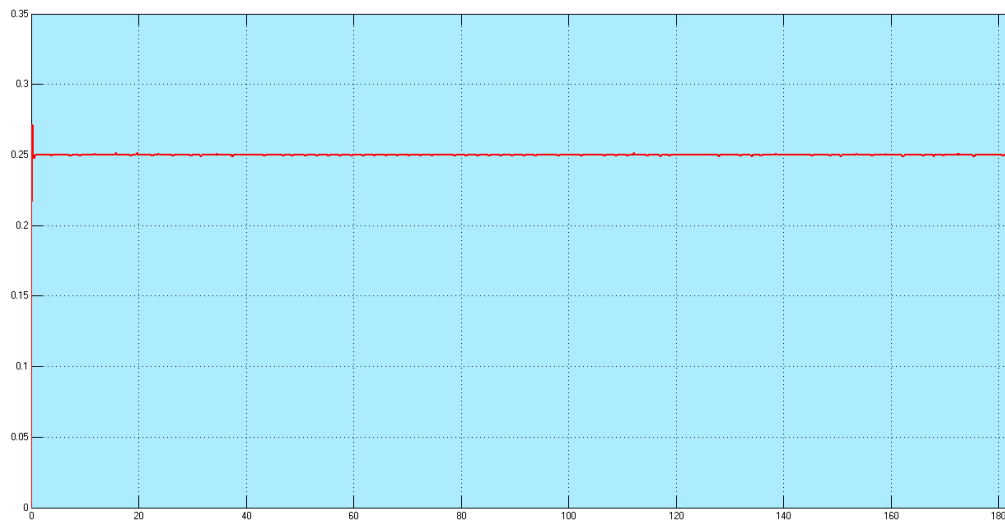


Fig. 5.8 Respuesta de control después de utilizar TUNER PID
Realizado por: **JOSE RIVERA MATLAB R2012a**

Ya en esta grafica podemos demostrar que el control de nuestra planta es más estable y en menos tiempo, gracias a la herramienta de **MATLAB (simulink)**.

5.6 ANALISIS DE LA PLANTA DE CONTROL DE VALVULA PROPORCIONAL EN VARIACION DE PRESION DE SISTEMA, R_1 y R_2 DIFERENTES

Según como mostramos en esta grafica 5.9 podemos demostrar de cómo se representa el modelo matemático de nuestra planta cuando las presiones empiezan a variar en nuestro sistema, logrando a generar el análisis de nuestra figura

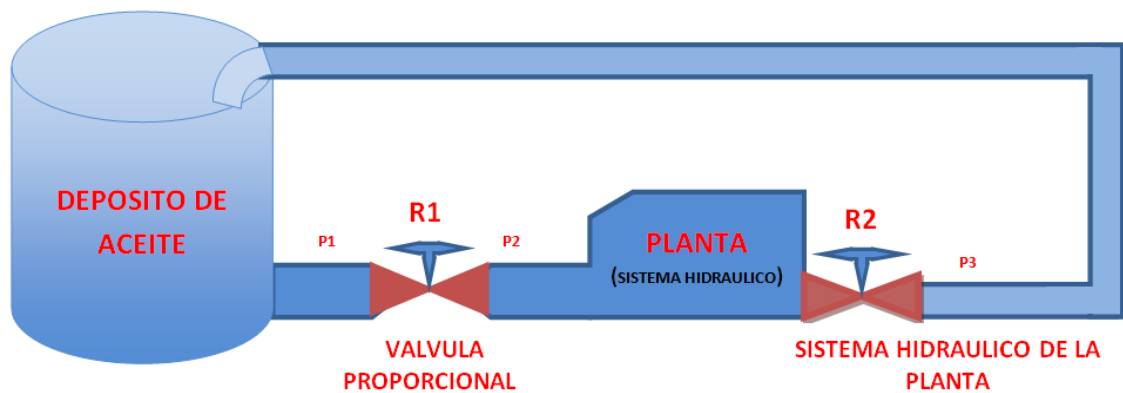


Fig. 5.9 Planta con variación de presión del sistema
Realizado por: JOSE RIVERA MATLAB R2012a

Fig. 5.9 Representación de nuestro sistema en estudio con variación de presión y fluido

Fuente: Autor (José Rivera)

Según esta planta tendremos dos variaciones de presión, lo que se da en el sistema automático en una planta, realizaremos el estudio de este modelo matemático para poder representar la función de transferencia de nuestra planta; teniendo:

Para la primera ecuación sería:

$$A \frac{dP_1}{dt} = qi - R_1 (P_1 - P_2) \quad \text{form. \#21}$$

$$A \frac{dP_2}{dt} = q_i - q_o = R_1 (P_1 - P_2) - R_2 * P_2 \quad \text{form. \#22}$$

Aplicando la transformada LAPLACE tendremos:

$$AsP_1 = q_i - R_1(P_1 - P_2) \quad \text{form. \#23}$$

$$AsP_2 = RP_1 - P_2(R_1 - R_2) \quad \text{form. \#24}$$

Determinando la segunda ecuación tendríamos:

$$P_1 = \frac{As + R_1 + R_2}{R_1} P_2 \quad \text{form. \#25}$$

Cuando reemplazamos esta ecuación en la primera formula tendremos:

$$q_i = As \left[\frac{As + R_1 + R_2}{R_1} \right] P_2 + R_1 \left\{ \left[\frac{As + R_1 + R_2}{R_1} \right] P_2 - P_2 \right\} \quad \text{form. \#26}$$

Despejando estas formulas reemplazándolas una a las otras obtendremos:

$$\frac{q_i}{P_2} = As^2 + 2R_1As + R_2As + R_1 * R_2 \quad \text{form. \#27}$$

Estas formulas dependerán del resultado de la variación de las presiones de nuestros sistemas donde podemos deducir ciertas condiciones como:

$$1.- R_1 = 2R_2$$

Para la primera condición tendremos que:

$$\frac{q_i}{P_2} = As^2 + 5AsR_2 + 2R_2^2 \quad \text{form \#28}$$

La cual nos quedaría la siguiente función de transferencia:

$$\frac{P_2}{Q_i} = \frac{1}{As^2 + 5AsR_2 + 2R_2^2} \quad \text{form \#29}$$

$$R_2 = 2$$

En el momento de aplicar el resultado de nuestra función de transferencia obtendremos en la siguiente figura 5.10, donde al aplicarlo a los mismo datos del PID donde la planta estaba trabajando en vacío tendremos un control absoluto de nuestra planta a los 5seg. Aproximadamente.

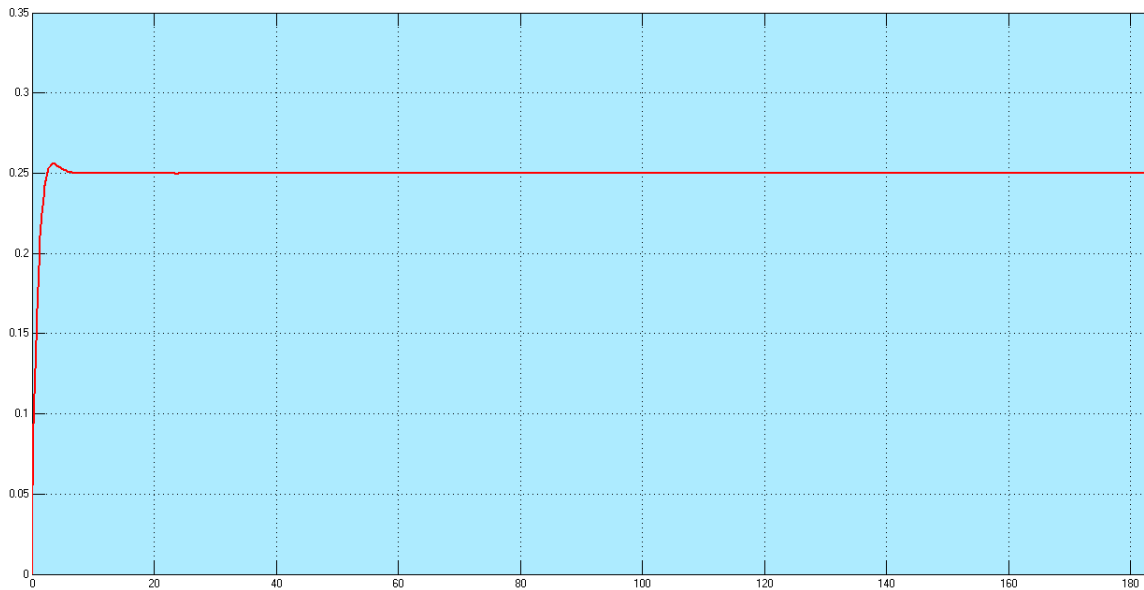


Fig. 5.10 Respuesta de control con los valores anteriores a nuestro sistema
Realizado por: JOSE RIVERA MATLAB R2012a

Llevando a cabo los mismo datos y cambiando la ganancia proporcional que era de **16** a un valor unitario, con el mismo sensor de **4mseg**.

Para el siguiente proceso aplicaremos **TUNER PID** donde la grafica 5.11 siguiente nos dará el control absoluto de nuestra planta pudiendo controlar los valores necesarios y estabilizarlo en el menor tiempo posible.

Donde nos da a conocer el control de por lo menos $\frac{1}{4}$ segundo, donde encontraríamos los valores necesarios para obtener la estabilidad de nuestra planta y así poder concretar nuestro estudio de cómo nosotros damos a conocer un buen método eficiente para poder tener la eficiencia de nuestro sistema, sin tener riesgos de daños a futuro y logrando a obtener los índices productivos reales de nuestras maquinas inyectoras.

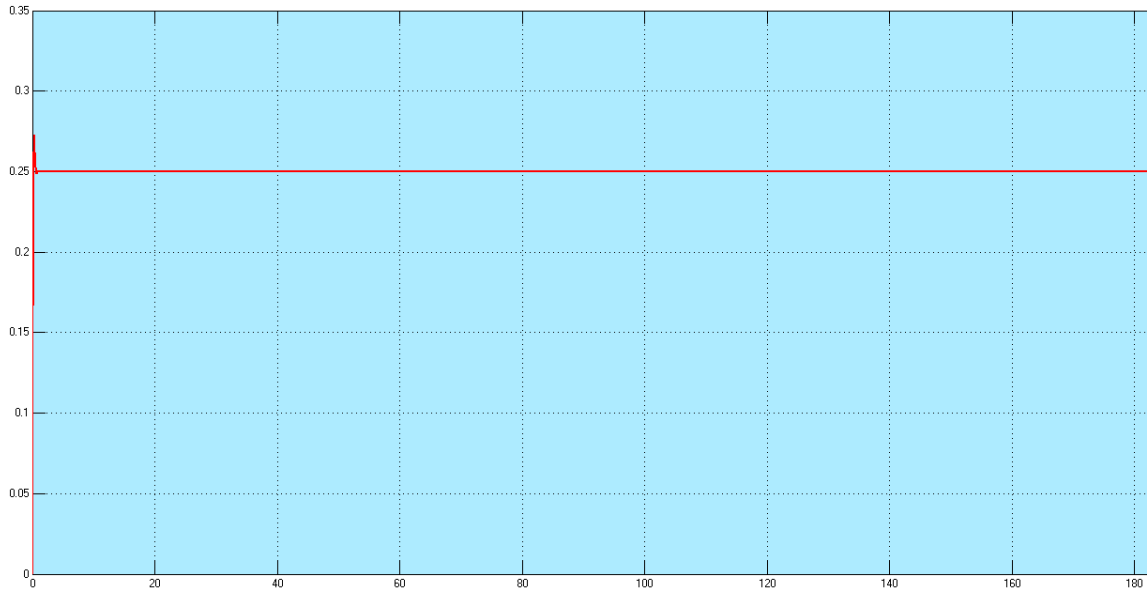


Fig. 5.11 Respuesta de control después de utilizar TUNER PID con variación de presión
Realizado por: JOSE RIVERA MATLAB R2012a

Así logramos tener los valores necesarios para poderlos aplicar en algún autómata al cual tengamos que aplicarle un controlador **PID** con los siguientes valores tal muestra la figura 5.12

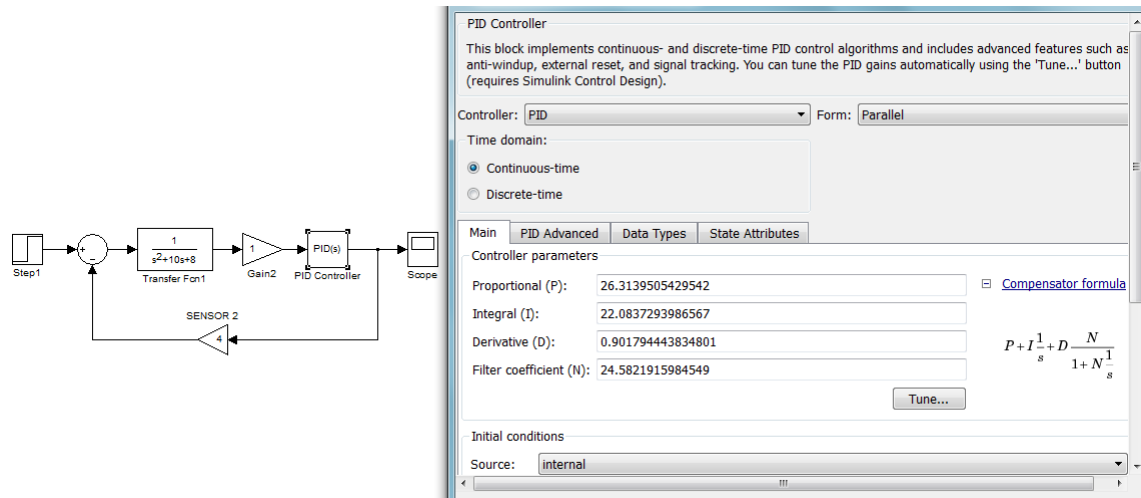


Fig. 5.12 Respuesta de control TUNER PID para los valores de control
Realizado por: JOSE RIVERA MATLAB R2012a

CONCLUSIONES

Ahora con los resultados que se ha obtenido en este estudio podemos dar referencia de los objetivos cumplidos en nuestro estudio del control de precisión de presión de la válvula proporcional.

El tiempo de control se ha minimizado gracias a esta herramienta de MATLAB así podemos dar garantía de la estabilidad del sistema que hemos empleado en esta tesis, el mismo que es de gran importancia en los sectores industriales plásticos.

El control de presión y flujo de una válvula profesional la cual es utilizada en proceso industrial es de gran importancia, ya que de ella depende la eficiencia de la maquina en proceso y la elaboración de su producción, siendo utilizada en cualquier medio industrial como; envasadoras de bebidas, sector plástico, etc.

En este proyecto se ha realizado un modelo matemático de la utilización de la válvula proporcional en el sector plástico (Inyectoras) el cual en base a conocimientos académicos y técnicos hemos podido presentar el comportamiento de una válvula proporcional en dicho sistema, la misma que es representada como una oposición o resistencia $R1$ en la figura de nuestro modelo matemático, el cual nuestra planta representa todo el sistema hidráulico de nuestra máquina y a su vez la segunda resistencia es el retorno que genera al tanque hidráulico, dicha resistencia $R2$ es el efecto que genera los actuadores ante la presión y velocidad que generan en ellos.

De esta manera se ha logrado demostrar el estudio de nuestra investigación de como $R1$ (válvula proporcional) puede estabilizar un sistema hidráulico de una máquina mediante un regulador PID, aun así teniendo perturbaciones en dichos sistemas, en el tiempo y valores deseados, de manera automática sin tener que tener ajustes secundarios como válvulas de caudal mecánico. Los avances tecnológicos en autómatas han ayudado a disminuir el tiempo de repuesta de corrección de error y en nuestro medio industrial plástico no se realiza este tipo de estudio para lograr obtener el mejor rendimiento productivo de la maquina, entonces esto ha generado un gran motivo para poder generar este estudio, el cual llegue a su mejor alcance de productividad.

Este estudio es realizado gracias a la experiencia adquirida en máquinas inyectoras que se encuentran en dicha empresa donde realice mis servicios técnicos, el cual muchos de ellos fueron automatizados y en ciertos casos con el autómata SIEMMENS S7-1200 a su vez se evaluó el rendimiento del equipo y comportamiento del sistema para poder generar este estudio de titulación.

RECOMENDACIONES

En todo proceso industrial se debería buscar la estabilidad del sistema en el menor tiempo posible, para así dar garantía a un buen rendimiento de la máquina, sin importar el tipo de proceso a emplear.

Las válvulas proporcionales deben de tener su debido acondicionador electrónico para que su respuesta al final sea la esperada, en el caso de que muchos autómatas pueden lograr este control como la utilización de los PLC SIEMENS S7-1200, SIEMENS S7-300 y S7-400. Las cuales son muy competentes para la utilidad de este tipo de sistema.

No obstante podemos garantizar que la utilidad de la válvula proporcional debería emplearse en cada parte más importante del sistema hidráulico de la maquina inyectora como son; unidad de inyección, unidad de cierre – abertura de prensa, unidad de potencia hidráulica. Con la finalidad de poder cumplir con los valores necesarios y deseados en dichas partes de la maquina, que son de mayor importancia y de gran eficiencia de la misma.

Siendo las válvulas proporcionales las que controlan la velocidad y presión en cada parte de la maquina en el tiempo precisó, dicho así cumpliendo con el tiempo de ciclo adecuado sin tener que existir perturbaciones o daños en los actuadores provocados por (golpe de ariete).

Si el caso es así de poder tener una válvula proporcional por cada parte del sistema hidráulica también debería adjuntarse una válvula de alivio como ayuda a la sobrepresión que existiría en el sistema en el caso del cambio del tiempo del ciclo de la máquina, evitando que al realizar el cambio existan daños de los motores hidráulicos (desgaste interno), bomba hidráulica (desgaste cartuchos), cilindros hidráulicos, etc.

El autómata a utilizar debe ser muy confiable y garantizado de manera que podamos dar los ajustes necesarios para emplear dichos propósitos como es el caso del S7-1200 (SIEMENS), ya que este cumple con los requisitos necesarios para este propósito del control de la válvula proporcional y un programa el cual es de gran ayuda para la elaboración de este tipo de proyectos.

En total de los casos toda válvula debería tener como referencia un sensor como es el transductor ya sea de presión o velocidad; con la finalidad de obtener la respuesta necesaria para poder cumplir la consigna requerida en nuestro control de nuestro proceso.

BIBLIOGRAFIA

<http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/1979/1/pfc3523.pdf>

Libro: Aplicaciones hidráulicas – control servo proporcional

<http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/ManualesIng/AppdeHidracontoServoP-O.pdf>

http://sistemamid.com/beta/panel/uploads/biblioteca/2013-10-10_12-26-2392291.pdf

Tesis Grado: Jennifer Leyes – Darío Navarrete

http://www.cib.espol.edu.ec/digipath/d_tesis_pdf/d-37866.pdf

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2421/1/108T0038.pdf>

<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4662/1/UPS-GT000418.pdf>

http://www.boschrexroth.com/RDSearch/rd/r_00208/rs00208_2008-08.pdf

<http://es.scribd.com/doc/103194179/FESTO-Manual-de-Hidraulica-Proporcional>

http://www.emagister.com/uploads_courses/Comunidad_Emagister_59482_Valvulas_proporcionales_HYD.2.pdf

<http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/LVDT/lvdt.pdf>

<http://es.slideshare.net/franciscov1938/05-valvulas>

[https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0CD8QFjAG&url=http%3A%2F%2Fblog.utp.edu.co%2Fjnsanchez%2Ffiles%2F2011%2F03%2FModulaci%25C3%25B3n-por-ancho-de-pulso-PWM-y-cambio-de-giro-motor-](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0CD8QFjAG&url=http%3A%2F%2Fblog.utp.edu.co%2Fjnsanchez%2Ffiles%2F2011%2F03%2FModulaci%25C3%25B3n-por-ancho-de-pulso-PWM-y-cambio-de-giro-motor-DC2.docx&ei=wnaxVPDKLfDisAS42IGgAg&usq=AFQjCNHzulLWAFdo1iAxiYBbZ1I0Am0c5Q&sig2=CjbbQpk23o9JQBGYYnw_Kw&bvm=bv.83339334,d.cWc)

[DC2.docx&ei=wnaxVPDKLfDisAS42IGgAg&usq=AFQjCNHzulLWAFdo1iAxiYBbZ1I0Am0c5Q&sig2=CjbbQpk23o9JQBGYYnw_Kw&bvm=bv.83339334,d.cWc](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0CD8QFjAG&url=http%3A%2F%2Fblog.utp.edu.co%2Fjnsanchez%2Ffiles%2F2011%2F03%2FModulaci%25C3%25B3n-por-ancho-de-pulso-PWM-y-cambio-de-giro-motor-DC2.docx&ei=wnaxVPDKLfDisAS42IGgAg&usq=AFQjCNHzulLWAFdo1iAxiYBbZ1I0Am0c5Q&sig2=CjbbQpk23o9JQBGYYnw_Kw&bvm=bv.83339334,d.cWc)

http://www.tervenet.com/itmaz/micros2/PIC32_10_PWM.pdf

<http://www.arian.cl/downloads/nt-010.pdf>

<http://es.slideshare.net/JELEstrada/lazo-de-control>

http://www.isa.cie.uva.es/~felipe/docencia/ra12itielec/tema1_trasp.pdf

http://ciecfie.epn.edu.ec/wss/VirtualDirectories/80/CControlC/materias/automatico/Descargas/Modelaci%C3%B3n/Lecturas/Lecturas_PDF/Lectura%201.pdf

http://www.juntadeandalucia.es/averroes/iesalfonso_romero_barcojo/departamentos/tecnologia/unidades_didacticas/ud_controlroboticav1/control_automatizado.pdf

<http://es.slideshare.net/quasar.0360.7912/sintonizacion-de-controladores-pid>

<https://www.youtube.com/watch?v=1GOZUUnum17E>

http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Equipamiento/PLC/st70k3_e.pdf

<https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores/Documentos/S7300ManualProducto.pdf>

http://webs.uvigo.es/fundamentos_automatizada_rajoy/Regulaci%C3%B3n%20PID%20en%20Siemens.pdf

<http://facso.wikispaces.com/file/view/S7-300.pdf>

<https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fdspace.ups.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F4662%2F1%2FUPS-GT000418.pdf&ei=A0nJVO71LM20sASTxIDoBg&usq=AFQjCNGtVPH5peu6Twd8RDONm7kxktm7Sw&sig2=2Oxd1uZZrP4OdBfi07B3og&bvm=bv.84607526,d.cWc>

<http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/10023/1/109.pdf>

<http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/images/5/56/02Inyectora08.pdf>

http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/conformado%20de%20plasticos.pdf

http://docencia.udea.edu.co/ingenieria/moldes_inyeccion/unidad_2/maquina.html

http://docencia.udea.edu.co/ingenieria/moldes_inyeccion/unidad_2/ciclo.html

http://docencia.udea.edu.co/ingenieria/moldes_inyeccion/unidad_2/tiempo_ciclo.html

https://www.google.com.ec/search?biw=710&bih=591&noj=1&site=webhp&tbm=isch&sa=1&q=motor+electrico+y+hidraulico&oq=motor+electrico+y+hidraulico&gs_l=img...1249281.1255294.0.1255519.28.19.0.3.3.1.490.2659.2-4j2j2.8.0.msedr...0...1c.1.61.img..20.8.1532.m4YU_FMj5ls#imgdii=&imgrc=daEM98pl8bFDgM%253A%3BdHHjvacVDjw_5M%3Bhttp%253A%252F%252Fimg.nauticexpo.es%252Fimages_ne%252Fphoto-g%252Funidad-energia-hidraulica-barco-motor-electrico-23380-

[374869.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.nauticexpo.es%252Fprod%252Fquantum-marine-engineering%252Funidades-energia-hidraulica-barco-motor-electrico-23380-249492.html%3B654%3B380](http://www.nauticexpo.es/prod/quantum-marine-engineering/unidades-energia-hidraulica-barco-motor-electrico-23380-249492.html)

https://www.google.com.ec/search?biw=710&bih=591&noj=1&site=webhp&tbm=isch&sa=1&q=motor+electrico+y+hidraulico&oq=motor+electrico+y+hidraulico&gs_l=img...1249281.1255294.0.1255519.28.19.0.3.3.1.490.2659.2-4j2j2.8.0.msedr...0...1c.1.61.img..20.8.1532.m4YU_FMJ5ls#imgdii=a5BNbpXcHaqviM%3A%3BMDscOyJbD90AhM%3Ba5BNbpXcHaqviM%3A&imgrc=a5BNbpXcHaqviM%253A%3BAdc4W9W5DEfM%3Bhttp%253A%252F%252Fi00.i.aliimg.com%252Fphoto%252Fv3%252F103564660%252FHydraulic+vane+motor+poclair+MS+motor+MS.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fspanish.alibaba.com%252Fproduct-free%252Fhydraulic-vane-motor-poclair-ms-motor-ms-rotor-103564660.html%3B245%3B300

http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~23005153/d_tecnologia/bajables/2%20bachillerato/TRANSDUCTORES,%20SENSORES%20Y%20CAPTADORES.pdf

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/flujoentuberias/golpedeariete/golpedeariete.html>

<http://www.megachainperu.com/acoplamiento-de-rejilla-tipo-falk.php>

Libro: Datos técnicos de Bombas hidráulicas

[http://www.bombas-ideal.com/Catalogos/LIBRO%20HIDRAULICA%20\[D-250112\].pdf](http://www.bombas-ideal.com/Catalogos/LIBRO%20HIDRAULICA%20[D-250112].pdf)

<http://www.monografias.com/trabajos100/tipo-bombas-hidraulicas/tipo-bombas-hidraulicas.shtml>

<http://mecanicayautomocion.blogspot.com/2009/02/engrase-indice-introduccion-aceites.html>

http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4918/html/42_rotativas+de+engranajes+internos.html

<http://www.directindustry.es/prod/roper-pump/bombas-engranaje-helicoidal-31134-764355.html>

<http://www.quiminet.com/articulos/las-bombas-de-paletas-de-grafito-28521.htm>

<https://areamecanica.wordpress.com/2012/04/12/ingenieria-mecanica-bomba-de-caudal-variable-de-pistones-axiales/>

<http://www.timken.com/es-es/products/coatings/engineered/Pages/ESinHydrostaticApplications.aspx>

[http://www.icm.espol.edu.ec/jornadas/14/archivos/Diapositivas/Rodr%C3%ADguezLuis/Rodr%C3%ADguezLuis Matlab como soporte para c%C3%A1lculos en Estad%C3%ADstica.pdf](http://www.icm.espol.edu.ec/jornadas/14/archivos/Diapositivas/Rodr%C3%ADguezLuis/Rodr%C3%ADguezLuis%20Matlab%20como%20soporte%20para%20c%C3%A1lculos%20en%20Estad%C3%ADstica.pdf)

http://mecablogertica.blogspot.com/2013/05/2_29.html

<http://pybonacci.org/wp-content/uploads/2013/11/proportional.png>

<http://pybonacci.org/wp-content/uploads/2013/11/pi.png>

<http://pybonacci.org/2013/11/06/teoria-de-control-en-python-con-scipy-ii-control-pid/>

http://lalibretadeisabella.blogspot.com/2012_06_01_archive.html

<http://iq.ua.es/TPO/Tema5.pdf>

<http://exordio.qfb.umich.mx/archivos%20pdf%20de%20trabajo%20umsnh/libros/2634854-MODELOS-MATEMATICOS-DE-SISTEMAS-FISICOS.pdf>

http://www.fceia.unr.edu.ar/dsf/files/A_SF%20Mod.pdf

http://www.ugr.es/~javierrp/master_files/Seminario%20de%20Matlab.pdf

https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2011/493/46447/1/Documento1.pdf

https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2011/493/46447/1/Documento1.pdf

http://es.wikibooks.org/wiki/Introducci%C3%B3n_a_Se%C3%B1ales,_Sistemas_y_Control

http://www.emagister.com/uploads_courses/Comunidad_Emagister_59482_Valvulas_proporcionales_HYD.2.pdf

<http://teoriadecontrol.blogspot.com/2009/10/analisis-de-sistemas-respuesta.html>

https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/documentacion/Documents/SIMATIC%20S71200R.pdf

<http://photos1.blogger.com/x/blogger2/3413/4505/1600/144734/Control%20Valve.jpg>

GLOSARIO

ACTUADORES: capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado.

AUTOMATA: Capaz de realizar funciones de manera automática de manera repetitiva y peligrosas, controlando sistemas completos a una alta velocidad en el menos tiempo posible.

AUTOMATIZACION: es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

BAR/PSI: medidas de presión.

BOURDONE: mediciones de presiones, manómetros, tubos, etc.

CPU: unidad central de procesamiento.

DEAD BAND: rango de variación de la variable que no produce cambio apreciable en la salida del mismo.

ENCODERS: sensor electro – opto – mecánico que único a un eje, proporciona información de la posición angular, actuando como un dispositivo de retroalimentación en sistemas de control integrado.

FEEDBACK: retroalimentación de un sistema de control lazo cerrado en comando del software MATLAB.

FUNCION DE TRANSPARENCIA: es un modelo matemático que a través de un cociente relaciona la respuesta de un sistema (modelada) con una señal de entrada o excitación (también modelada).

GND: conocida como tierra o masa (negativo en términos electrónicos).

HDMI: interfaz multimedia de alta definición, comunicación hombre – máquina.

HIDRAULICA: parte de la física que estudia la mecánica de los fluidos.

HISTERESIS: trabaja dentro de un rango cercano a los puntos de activación, y así llevar la operación Off a On, también reconocida como DEADBAND.

HUSILLO EXTRUSION: tornillo largo y de gran diámetro, el cual está fijo a un motor que lo hace girar a una velocidad angular previamente decidida en los procesos de moldeo por inyección o extrusión.

LOGICA BOOLEANA: lógica de conjuntos, la cual forma intersección entre conjuntos, utilizada más en la álgebra booleana por sus combinaciones.

MIMO: conocido como múltiples entradas y múltiples salidas, las variables se representan mediante vectores en lugar de valores escalares.

O' RINGS: junta de forma toroidal, habitualmente de goma, asegura la estanqueidad de fluidos en los actuadores, equipamientos submarinismo acuático.

OEM: aplicaciones donde se deben utilizar un solo software, garantizando la venta del mismo.

PID: (Proporcional Integrativo Derivativo) es un mecanismo de control genérico sobre una realimentación de bucle cerrado, ampliamente usado en la industria para el control de sistemas.

PLC: es un dispositivo electrónico que puede ser programado por el usuario y se utiliza en la industria para resolver problemas de secuencias.

PLUG – IN: es un módulo de hardware o software que añade una característica o un servicio específico a un sistema más grande.

POLIPROPILENO: polímero termoplástico, cristalino; que se obtiene de la polimerización del propileno (propeno).

PROTECCION KNOW - HOW: protección asignada a los bloques de programación de Step 7, de los autómatas Siemens.

PROFINET: es la solución de automatización distribuida entre otros componentes para la automatización de un proceso.

PROFIBUS: estándar de red de campo abierto e independiente de proveedores, donde la interfaz de ellos permite amplia aplicación en procesos, fabricación y automatización predial.

PTO: conocido como tren de pulsos generado por un PWM

P_v: valor real del proceso esperado en un sistema de control automatizado.

PVC: policloruro de vinilo, plástico que surge a partir de la polimerización del monómero cloroetileno (también conocido como cloruro de vinilo).

PWM: modulador de ancho de pulso.

RS232 & RS485: interfaz que designa una norma para el intercambio de una serie de datos binarios entre un equipo de terminal de datos.

RMS: valor promedio o pico de la onda de entrada.

TRANSFORMADA LAPLACA: da a conocer el valor de una función con relación al tiempo.

SETPOINT: Punto en que una señal se establece bajo ciertos parámetros deseados.

STEP 7: es el software de ingeniería más conocido y utilizado en la automatización industrial en todo el mundo; para los autómatas SIEMENS.

ANEXOS