

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**Trabajo de investigación acerca de sistemas de inyección de zamak en
cámara caliente para la manufactura a alta presión de piezas de
reguladores de flujo de gas de 300 gr de masa para una producción de
1200 unidades por jornada laboral**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL
GRADO DE BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN
INGENIERÍA MECATRÓNICA**

AUTOR

Juan Esteban Munive Torres

ASESOR:

Allan Walter Flores Morales

Diciembre 2020

Resumen

En la actualidad, las máquinas de inyección de metal fundido son muy empleadas en empresas de manufactura de componentes metálicos por su alta productividad. En la industria nacional, muchas de estas máquinas con las que cuentan las empresas presentan deficiencias que se evidencia en la obtención de cierto porcentaje de piezas con errores de inyección. Estas deficiencias están muy relacionadas con los parámetros de inyección de la máquina. Ante tal situación, el presente trabajo académico tiene como objetivo general encontrar un concepto de solución óptimo que permita optimizar el funcionamiento de la máquina inyectora mediante el monitoreo y control de los parámetros de inyección.

Los objetivos específicos de este trabajo de investigación son: realizar el estudio del estado del arte de las tecnologías tales como los tipos de sistemas de inyección de metal a alta presión, las tecnologías e instrumentación relacionada con el sistema, definir los requerimientos y las funciones del sistema, y determinar el concepto óptimo a partir de tres soluciones planteadas mediante una evaluación técnica y económica.

Índice de contenido

Resumen	i
Índice de contenido.....	ii
Índice de figuras	iv
Índice de tablas	v
Introducción.....	1
Capítulo 1 Marco problemático.....	3
1.1 Problemática	3
1.2 Propuesta de solución	6
1.3 Metodología.....	7
1.4 Alcance	8
1.5 Objetivos.....	8
1.5.1 Objetivo general	8
1.5.2 Objetivos específicos.....	9
Capítulo 2 Estado del Arte.....	10
2.1 Tipos de inyección a alta presión	10
2.1.1 Inyección en cámara caliente.....	10
2.1.2 Inyección en cámara fría.....	12
2.1.3 Comparación de los tipos de inyección	13
2.2 Tecnologías e instrumentación	14
2.2.1 Dispositivos de medición de temperatura.....	14
2.2.2 Componentes hidráulicos	22
2.2.3 Controladores industriales	35
Capítulo 3 Diseño de la propuesta.....	37
3.1 Requerimientos del sistema	37
3.1.1 Requerimientos mecánicos	37
3.1.2 Requerimientos de eléctricos.....	37
3.1.3 Requerimientos de control.....	37
3.1.4 Requerimientos de funcionamiento	38
3.1.5 Requerimientos de seguridad	38
3.1.6 Requerimientos de mantenimiento	38
3.2 Estructura de funciones	38
3.2.1 Entradas del sistema	38
3.2.3 Funciones del sistema.....	39
3.3 Matriz morfológica	43
3.4 Conceptos de solución	47
3.4.1 Concepto de solución 1	47

3.4.2 Concepto de solución 2	49
3.4.3 Concepto de solución 3	52
3.5 Análisis técnico-económico.....	54
3.5.1 Evaluación técnica.....	55
3.5.2 Evaluación económica.....	56
Conclusiones.....	59
Bibliografía.....	61



Índice de figuras

Figura 1 Gráfico estadístico de causas en fallas en reguladores de gas	4
Figura 2 Diagrama de metodología VDI 2221	7
Figura 3 Fundición a alta presión en cámara caliente	10
Figura 4 Fundición a alta presión en cámara fría	12
Figura 5 Termopares estándar	14
Figura 6 Funcionamiento del termopar	15
Figura 7 Termorresistencia.....	16
Figura 8 Simbología de termistores PTC Y NTC.....	17
Figura 9 Formas constructivas de termistor y simbología.....	18
Figura 10 Termómetro bimetalico.....	18
Figura 11 Estructura de una tira bimetalica.....	19
Figura 12 Diagrama esquemático de funcionamiento del pirómetro óptico	20
Figura 13 Pirómetro óptico.....	20
Figura 14 Pirómetro de radiación	21
Figura 15 Sensor de temperatura infrarrojo.....	21
Figura 16 Acumulador hidráulico de vejiga.....	22
Figura 17 Acumulador cargado con peso	23
Figura 18 Acumulador cargado con resorte	24
Figura 19 Acumulador cargado con gas	25
Figura 20 Circuito hidráulico válvula de seguridad	26
Figura 21 Circuito hidráulico válvula de compensación de carga.....	26
Figura 22 Representación esquemática válvula de caudal	27
Figura 23 Representación esquemática válvula antirretorno.....	27
Figura 24 Representación esquemática válvulas distribuidoras	28
Figura 25 Componentes del cilindro hidráulico	29
Figura 26 Cilindro hidráulico de simple efecto	30
Figura 27 Cilindro hidráulico de doble efecto.....	30
Figura 28 Transductor de presión.....	32
Figura 29 Presostato electrónico.....	33
Figura 30 Sensor de caudal.....	33
Figura 31 Controlador Lógico programable.....	35
Figura 32 Sistema de control distribuido.....	36
Figura 33 Diagrama de funciones del sistema de inyección	40
Figura 34 Bosquejo solución 1	47
Figura 35 Diagrama hidráulico solución 1	48
Figura 36 Diagrama de bloques solución 1	49
Figura 37 Bosquejo de solución 2	50
Figura 38 Diagrama hidráulico de solución 2	51
Figura 39 Diagrama de bloques solución 2	51
Figura 40 Bosquejo solución 3	52
Figura 41 Diagrama hidráulico solución 3	53
Figura 42 Diagrama de bloques solución 3	54
Figura 43 Diagrama de evaluación.....	58

Índice de tablas

Tabla 1 Proceso de inyección en cámara caliente	11
Tabla 2 Proceso de inyección en cámara fría	12
Tabla 3 Características de los procesos en cámara caliente y cámara fría	13
Tabla 4 Tipo de termopares, composición y rango de operación	15
Tabla 5 Características de válvulas direccionales.	28
Tabla 6 Comparación entre los cilindros de simple y doble efecto	31
Tabla 7 Matriz morfológica	44
Tabla 8 Significado de los pesos relativos	54
Tabla 9 Significado de los puntajes	55
Tabla 10 Evaluación técnica	56
Tabla 11 Evaluación económica	57



Introducción

El proceso de fundición inyectada de metal a alta presión es ampliamente usado en la industria por las ventajas que ofrece, entre ellas una alta productividad a un costo relativamente bajo frente a otros procesos de fabricación. Las máquinas que realizan este tipo de proceso son conocidas como inyectoras y las hay de dos tipos: cámara fría y cámara caliente. Los metales que se emplean generalmente en este proceso son metales no ferrosos tales como aleaciones de zinc, aluminio, estaño y magnesio.

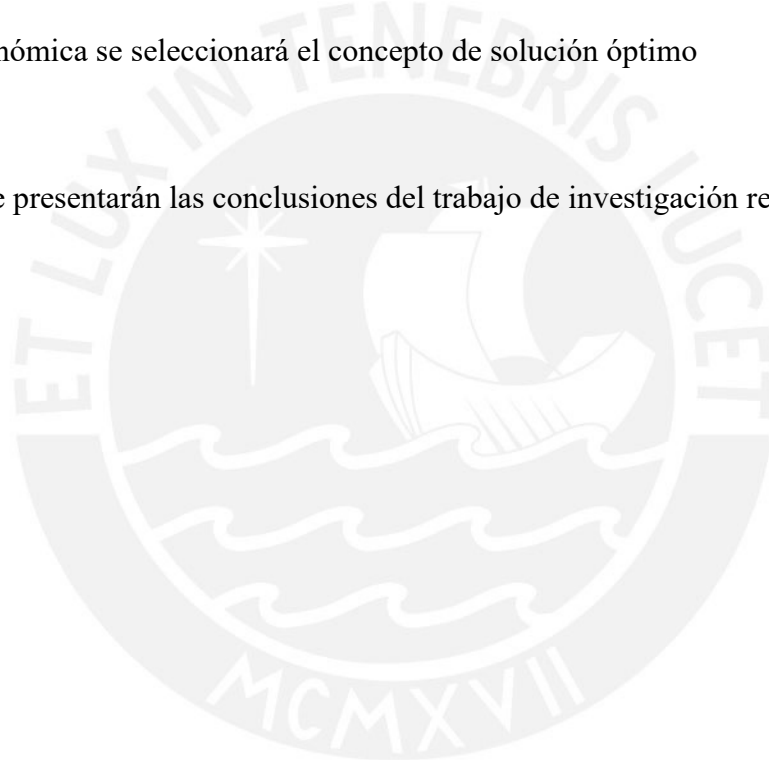
La manufactura de piezas metálicas mediante fundición inyectada a alta presión es una de las tecnologías que es usada por muchas industrias para la elaboración de sus productos y esto no es ajeno a la industria nacional, dentro de ellas, las industrias que fabrican reguladores de flujo de gas emplean esta tecnología, ya que permite una rápida producción; sin embargo, cierto porcentaje de piezas obtenidas presentan errores de fabricación y rechazos. El presente trabajo de investigación buscará diseñar un sistema de inyección que reduzca estos errores teniendo en consideración los parámetros involucrados en la inyección del metal fundido teniendo como caso particular el zamak.

En el primer capítulo, se definirá con mayor detalle la problemática para luego proceder con la propuesta de solución, se planteará la metodología a emplear para diseñar de manera conceptual la solución y con ello se determinará el alcance y se definirán el objetivo general y los objetivos específicos del presente trabajo.

En el segundo capítulo, se realizará el estudio del estado del arte en el cual se presentarán los tipos de sistemas de inyección a alta presión y tecnologías e instrumentación relacionada con el sistema, que permitan un acercamiento al concepto de solución óptimo de la propuesta de solución.

En el tercer capítulo, se definirán los requerimientos del sistema y su estructura de funciones. Luego se elaborarán tres conceptos de solución teniendo en cuenta las alternativas para cada función del sistema. A partir de ello, mediante una evaluación técnica y económica se seleccionará el concepto de solución óptimo

Finalmente se presentarán las conclusiones del trabajo de investigación realizado.



Capítulo 1 Marco problemático

En el presente capítulo se describe la problemática relacionada la fundición inyectada de metales, teniendo en cuenta ello se plantea la propuesta de solución. Asimismo, se definen la metodología a emplear para el desarrollo del presente trabajo de investigación, el alcance y los objetivos.

1.1 Problemática

En la industria nacional, son muchas las empresas que utilizan en sus procesos de producción, inyectoras de fundición metálica para el conformado de piezas. Estas máquinas son ampliamente utilizadas porque ofrecen una alta productividad a un costo de operación relativamente bajo. Sin embargo, las máquinas que emplean estas empresas nacionales para la fundición inyectada son de la década de los 80's o 90's las cuales de por sí con la tecnología de ese entonces no garantiza que la totalidad de las piezas inyectadas no presente imperfecciones y más aun con el pasar de los años la tasa de piezas con imperfecciones se ha incrementado.

Según datos recogidos de la empresa ECOAINSA SAC, industria que fabrica reguladores de flujo de gas, de un total de producción de 1200 reguladores, 300 de estos presentan fallas, de los cuales el 50% tienen como causa directa la fundición inyectada como se muestra en la figura 1. Esto obliga a la empresa hacer un proceso de retrabajo lo cual conlleva a pérdidas económicas, pues aumenta el tiempo de producción, se genera un costo extra para volver a fundir el metal y existe desperdicio de material.

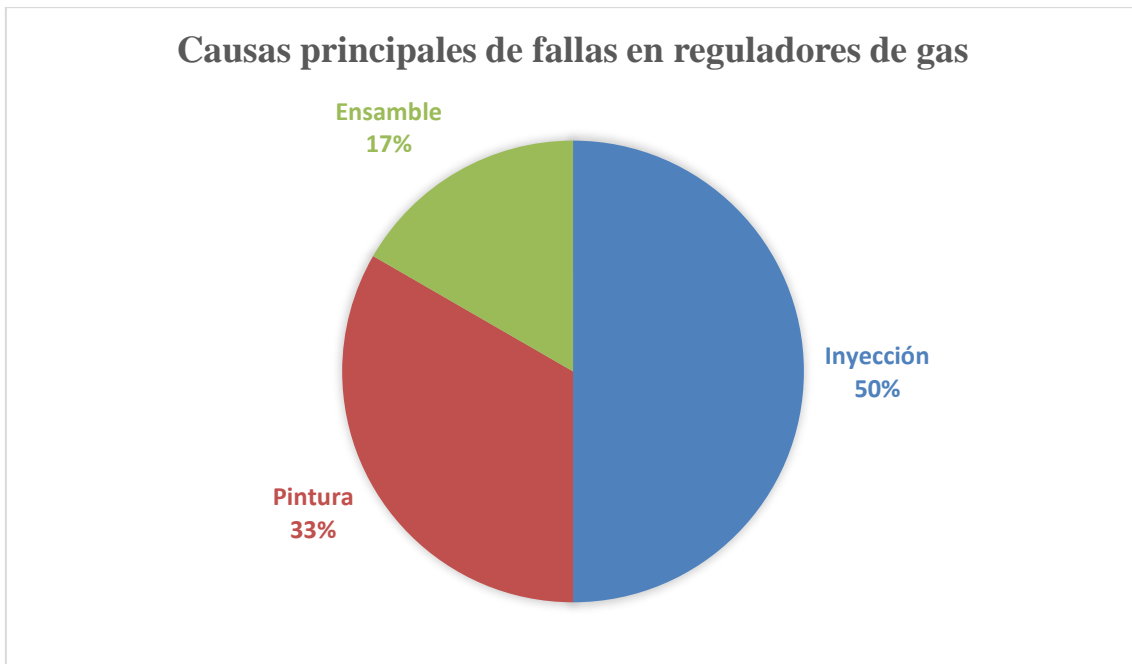


Figura 1 Gráfico estadístico de causas en fallas en reguladores de gas
Fuente: Empresa ECOAINSA. Adaptado

Los errores que se producen en el proceso de inyección tales como microporosidades, llenado incompleto y rebabas, se deben a que ciertos parámetros no son controlados. Los parámetros involucrados se dividen en dos grupos relacionados con los sistemas que componen a la inyectora y son los siguientes:

Parámetros sistema apertura/cierra (Sistema encargado de la apertura y cierre del molde)

- **Fuerza de cierre del molde:** es la fuerza que actúa sobre la placa móvil, la cual sujeta una mitad del molde. La fuerza debe ser tal que asegure el cierre completo del molde pues durante la inyección se genera una fuerza que tiende a abrir el molde.
- **Tiempo de enfriamiento:** tiempo requerido para la solidificación de la pieza y pueda ser extraída del molde sin que se deforme.

Parámetros sistema inyección (Sistema encargado de la inyección del metal fundido)

- **Velocidad de inyección:** velocidad con la cual el pistón desciende tanto en la carrera en vacío como cuando actúa sobre el material fundido. Actúa como una jeringa de llenado de material fundido.
- **Presión de llenado:** es la presión que se aplica inicialmente al material fundido y que se desarrolla como consecuencia del movimiento del pistón. Esta presión obliga a que el fluido fluya hacia la embocadura del molde produciendo el llenado inicial del molde. En una situación ideal la presión inicial deber ser lo mayor posible de modo que el llenado sea el más rápido posible.
- **Presión de mantenimiento:** es la presión que se aplica al final de la inyección, cuando el molde se encuentra casi completamente lleno hasta que el molde se acabe de llenar.
- **Tiempo de inyección inicial:** tiempo en el cual el metal fundido es llenado en la cavidad del molde. Esta depende de numerosos factores tales como el material que es inyectado, su viscosidad, las características del molde y el porcentaje de capacidad de inyección que se está empleando.
- **Tiempo de mantenimiento:** tiempo en el cual se aplica la presión de mantenimiento sobre el metal fundido para mantener la presión sobre el material dentro del molde. Este tiempo se prolonga hasta que la entrada a la cavidad de moldeo solidifica.
- **Temperatura del molde:** es la temperatura a la que encuentra la superficie de la cavidad de moldeo. Debe ser lo suficiente baja para enfriar el material fundido y conseguir que solidifique. Esta temperatura varia a lo largo del molde y depende de varios parámetros (temperatura del fluido refrigerante, temperatura de material, características térmicas del molde), pero a efectos prácticos se evalúa como el

valor medio a lo largo de toda la cavidad. Las altas temperaturas malogran los moldes, las bajas en cambio causan porosidad en la pieza.

- **Temperatura del material a inyectar:** temperatura a la cual se calienta el material para introducirlo en el interior del molde. Esta temperatura es función del tipo de material y deber ser tal que el material fluya correctamente.

Se puede verificar que la mayor cantidad de parámetros que afectan la calidad de piezas producidas están relacionados con el sistema de inyección y que estos tienen que ver con magnitudes como velocidad, presión y tiempo.

1.2 Propuesta de solución

Atendiendo a la problemática, surge la necesidad de monitorear y controlar de manera eficiente los parámetros involucrados en el sistema de inyección con el fin de evitar que se presenten errores de fabricación. Los parámetros de inyección en líneas generales son los siguientes: velocidad de inyección, presión de inyección (fuerza de inyección), temperatura del molde y la temperatura del metal fundido.

Debido a que los parámetros de inyección dependen del material de inyección, capacidad de inyección y de la producción requerida; el desarrollo del concepto de solución óptimo tendrá como aplicación particular la inyección de zamak para piezas de reguladores de flujo de gas de 300 gramos de masa a una producción de 1200 unidades por jornada laboral de 8 horas.

El sistema tendrá como condiciones de partida la temperatura de fusión del zamak adecuada para su inyección la cual oscila alrededor del valor de 410°C, la temperatura del molde que por referencia teórica es un tercio de la temperatura del metal fundido, que para este caso correspondería una temperatura en un rango 126°C a 136°C.

1.3 Metodología

La metodología a emplear para el desarrollo del presente trabajo de investigación es la metodología planteada por la norma alemana VDI 2221 cuyo esquema se puede ver en la figura 2.

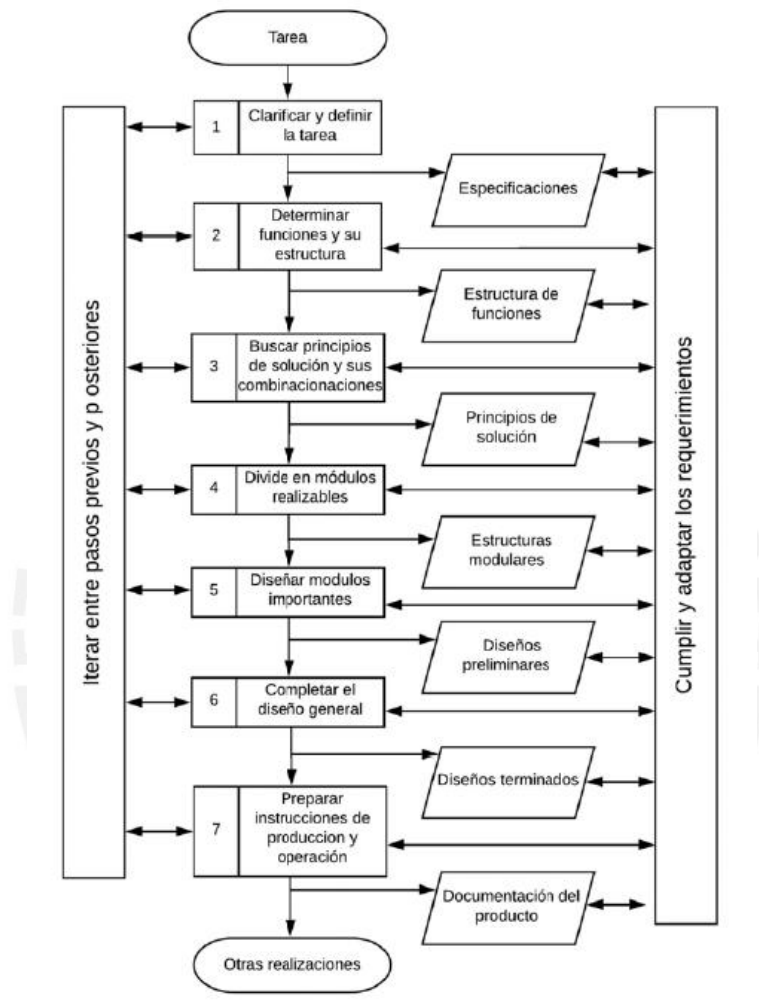


Figura 2 Diagrama de metodología VDI 2221
Fuente: Pahl, Beitz, Feldhusen, & Grote, 2007. Adaptado

Para el presente trabajo de investigación se abarca las etapas 1, 2 y 3, donde esta última culmina con la obtención del concepto de solución óptimo.

1.4 Alcance

Teniendo en consideración la metodología a emplear, el presente trabajo de investigación comprenderá los siguientes pasos:

- Definición del alcance y de los objetivos general y específicos, teniendo en consideración la propuesta de solución planteada ante la descripción de la problemática.
- Elaboración del estado del arte de las tecnologías a emplear en el desarrollo del sistema de inyección.
- Establecer los requerimientos que deberá cumplir el sistema de inyección
- Determinar la estructura de funciones que deberá realizar el sistema.
- Elaboración de la matriz morfológica a partir de las funciones establecidas para el desarrollo del sistema.
- Proponer conceptos de solución teniendo en consideración las alternativas de solución propuestas para cada función en la matriz morfológica
- Determinar el concepto de solución óptimo a partir de la evaluación técnica y económica de los conceptos de solución

1.5 Objetivos

En esta sección se presentan el objetivo general y los objetivos específicos

1.5.1 Objetivo general

Proponer un concepto de solución óptimo que permita optimizar el funcionamiento de la máquina inyectora mediante el monitoreo y control de los parámetros de inyección.

1.5.2 Objetivos específicos

- Realizar el estudio del estado del arte de las tecnologías tales como tipos de sistemas de inyección de metal a alta presión, y tecnologías e instrumentación relacionada con estos sistemas.
- Definir los requerimientos del sistema tales como requerimientos mecánicos, eléctricos, de control, de funcionamiento, de seguridad y de mantenimiento.
- Determinar la estructura de funciones del sistema en base a dominios tales como dominio sensores, dominios actuadores, dominio mecánico, dominio energía, dominio interfaz, dominio comunicación y dominio de control.
- Proponer tres conceptos de solución a partir de las alternativas de solución planteada para cada función en la matriz morfológica.
- Determinar el concepto óptimo haciendo uso de la evaluación técnica y económica de los conceptos de solución propuestos.

Capítulo 2 Estado del Arte

En el presente capítulo se presenta el estado de arte relacionado con el sistema a desarrollar el cual comprende los tipos de inyección a alta presión: cámara caliente y cámara fría, los dispositivos de medición de temperatura, los componentes hidráulicos tales como válvulas, acumuladores y cilindros, y tecnologías para las tareas de control entre sensores y controladores.

2.1 Tipos de inyección a alta presión

Existen dos tipos de máquinas utilizadas en el proceso de fundición a presión: las de cámara caliente y las de cámara fría. Básicamente las diferencias están en los materiales con que cada una opera, la disposición del pistón y la ubicación del crisol.

2.1.1 Inyección en cámara caliente

En cámara caliente se emplea metales de menor punto de fusión como las aleaciones de zinc (zamak), estaño y plomo; el crisol esta adherido a la máquina como se muestra en la figura 3 y la disposición del pistón del sistema de inyección es vertical.

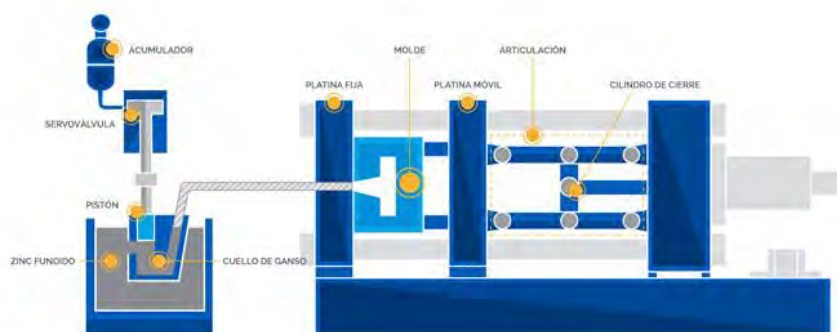
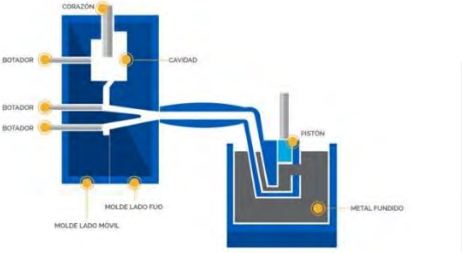
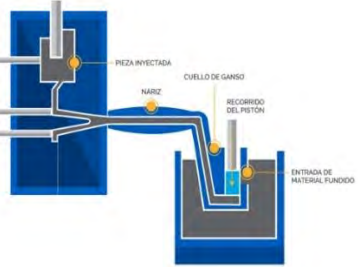
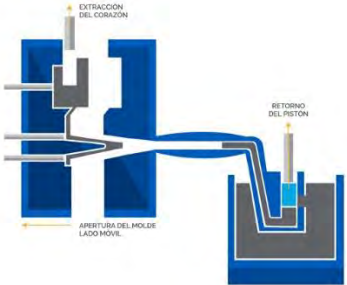
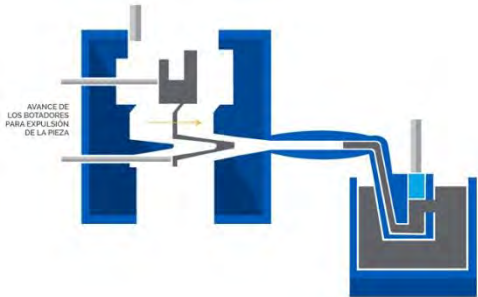


Figura 3 Fundición a alta presión en cámara caliente
Fuente: <https://www.dynacast.es/fundicion-inyectada-en-camara-caliente>

A continuación, en la tabla 1 se muestra el flujo de inyección del metal fundido en cámara caliente.

Tabla 1 Proceso de inyección en cámara caliente
Fuente: <https://www.dynacast.es/fundicion-inyectada-en-camara-caliente>. Adaptado

<p>1. El molde se cierra, y el pistón se eleva y abre el puerto, lo que permite que el metal fundido llene el cilindro</p>	<p>2. A continuación, el pistón sella el puerto, empuja el metal fundido a través del cuello de ganso y la boquilla hacia la cavidad de inyección donde se mantiene bajo presión hasta que se solidifica</p>
	
<p>3. El molde se abre y los corazones, si los hay, se retraen. La pieza fundida se mantiene en una sola mitad, en el lado de la expulsión. El pistón vuelve, lo que permite que el metal fundido residual fluya de nuevo a través de la boquilla y el cuello de ganso.</p>	<p>4. Los botadores empujan la pieza fundida fuera del molde. A medida que el pistón descubre el orificio de llenado, el metal fundido fluye a través de la entrada para rellenar el cuello de ganso.</p>
	

2.1.2 Inyección en cámara fría

En las de cámara fría, se trabaja con metales de mayor punto de fusión como las aleaciones de latón, magnesio y aluminio; el crisol no está adherida a la inyectora, es decir, el crisol es externo como se muestra en la figura 4, y la disposición del pistón es horizontal.

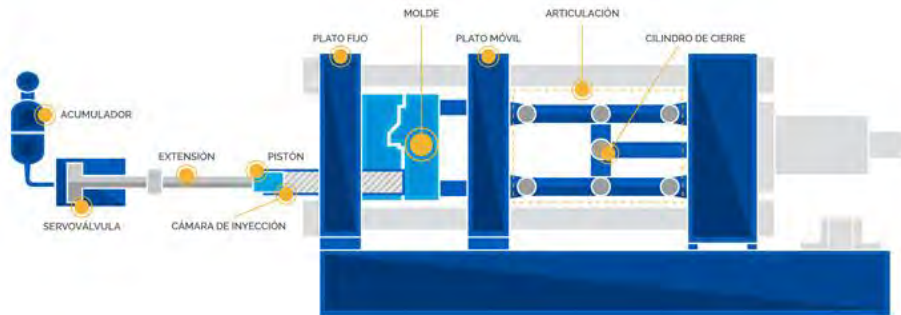


Figura 4 Fundición a alta presión en cámara fría

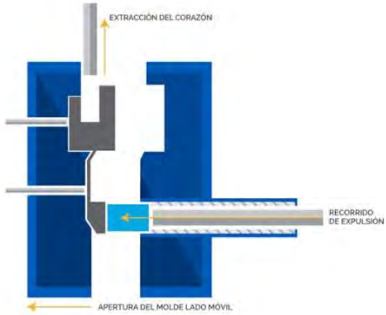
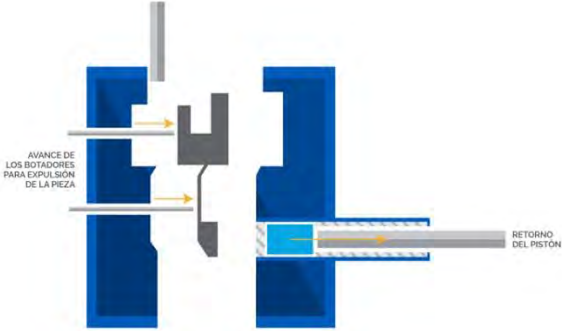
Fuente: <https://www.dynacast.es/fundicion-inyectada-en-camara-fria>

En el flujo del proceso de inyección es importante resaltar que el llenado del metal fundido se hace externamente, ya sea de manera manual mediante un cucharón o de manera automatizada mediante un brazo robótico. A continuación, en la tabla 2 se muestra el flujo de inyección en cámara fría

Tabla 2 Proceso de inyección en cámara fría

Fuente: <https://www.dynacast.es/fundicion-inyectada-en-camara-fria>. Adaptado

<p>1. El molde se cierra y el metal fundido se dosifica en la cámara de inyección de la cámara fría.</p>	<p>2. El pistón empuja el metal fundido en la cavidad de la inyección donde se mantiene bajo presión hasta que se solidifica</p>

<p>3. El molde se abre y el pistón avanza, para asegurar que la pieza de fundición permanezca en el molde de expulsión. Los corazones, si lo hay, se retraen.</p>	<p>4. Los botadores empujan la pieza fundida fuera de la mitad del molde y el pistón regresa a su posición original.</p>
	

2.1.3 Comparación de los tipos de inyección

En la tabla 3, se resume las principales características que diferencian ambos procesos.

Tabla 3 Características de los procesos en cámara caliente y cámara fría

Fuente: <http://materias.fi.uba.ar/7204/teoricas/Fundicion%20en%20molde%20permanente.pdf>. Adaptado

Proceso en cámara caliente	Proceso en cámara fría
El crisol esta adherido a la máquina	El crisol es externo separado de la máquina
Proceso limitado a aleaciones de bajo punto de fusión (zamak, estaño y plomo)	Se pueden procesar aleaciones con temperaturas de fusión más altas (aluminio, magnesio y latón)
Sistema de inyección sumergido en el metal fundido	Sistema de inyección en contacto breve con el metal fundido
Velocidades de producción comparativamente altas (hasta 500 ciclos por hora)	Velocidades de producción de hasta 150 ciclos por hora
Presiones de inyección de 7 a 35 MPa	Presiones de inyección de 20 a 150 MPa

Las altas temperaturas de fusión de las aleaciones con que operan ambas máquinas pueden afectar y erosionar los crisoles, los cilindros y los pistones; por ello en cámara caliente se trabaja con aleaciones de bajo punto de fusión en comparación con la cámara fría ya que en el

primero el sistema de inyección está sumergido en el metal fundido. Esto permite que el ciclo de operación en cámara caliente sea mayor ya que no es necesario el traslado del metal fundido a la cámara de inyección.

2.2 Tecnologías e instrumentación

2.2.1 Dispositivos de medición de temperatura

2.2.1.1 Sensores de contacto

Termopar

El termopar es uno de los sensores más empleados en los sistemas de medición de temperatura. Son económicos, de sencilla instalación y con una precisión ajustada a diversos procesos. En comparación con otros sensores de temperatura, su respuesta puede ser algo lenta. En la figura 5 se muestran termopares del tipo estándar.



Figura 5 Termopares estándar

Fuente: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/627/5/A5.pdf>

Su funcionamiento se basa en dos hilos metálicos de diferentes materiales unidos en un extremo y el otro extremo separado como se muestra en la figura 6. Estos extremos son conocidos como junta caliente o de medición y junta fría respectivamente. La diferencia de temperatura entre ambas juntas produce una diferencia de potencial en el orden de los mv.

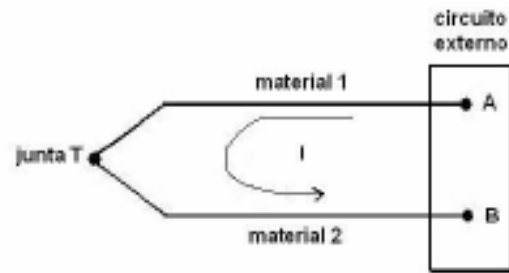


Figura 6 Funcionamiento del termopar

Fuente: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/627/5/A5.pdf>

Según los materiales de los que están compuestos se presentan los principales tipos de termopares que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4 Tipo de termopares, composición y rango de operación

Fuente: <https://sites.google.com/site/automatizacionycontrol2/instrumentacion/medicion-y-control/temperatura?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>

Tipo de termopar	Materiales	Rango normal
J	Hierro – Constantan	-190 °C a 760 °C
T	Cobre – Constantan Cobre – (Cobre-Níquel)	-200 °C a 370 °C
K	Cromel – Alumel (Cromo – Níquel) – (Aluminio-Níquel)	-190 °C a 1.260 °C
E	Cromel – Constantan	-100 °C a 1.260 °C
S	(90 % Platino + 10 % Rodio) – Platino	0 °C a 1.480 °C
R	(87 % Platino + 13 % Rodio) – Platino	0 °C a 1.480 °C

Termorresistencia (RTD)

Estos sensores son especialmente indicados para la medición en entornos industriales, gracias a su inmunidad ante el ruido eléctrico. Son básicamente instrumentos para medir temperatura en función de la resistencia eléctrica (su valor resistivo aumenta en función del aumento de temperatura), y se calibran para indicar lecturas de temperatura directamente en vez de unidades de resistencia óhmica, siendo un método bastante exacto de medición de temperatura. Los principales materiales de que están hechos son el platino, el molibdeno, el cobre y el níquel.

El intervalo de temperatura de operación de los RTD de platino es de -200°C hasta 850°C , la cual es la mayor en comparación con los RTD de otros materiales.

Debido al pequeño cambio en resistencia para un cambio dado de temperatura que se produce al emplear un RTD es necesario acondicionar la señal mediante circuitos como el puente de Wheatstone para así poder realizar mediciones de temperatura (calibración). En la figura 7 se muestra una termorresistencia.



Figura 7 Termorresistencia

Fuente: <https://www.logicbus.com.mx/sensores-temperatura.php>

Termistores

Estos sensores están compuestos de materiales semiconductores cuya resistencia eléctrica es sensible a la temperatura. Sus electrodos internos detectan el calor, midiéndola por impulsos eléctricos.

Podemos encontrar los siguientes tipos de termistor según coeficiente de temperatura

Termistor NTC (Coeficiente de temperatura negativo) Sensores indicados para amplios rangos de temperaturas. Al aumentar la temperatura, su resistencia disminuye. Suelen estar hechos de magnesio, cobre, níquel o cobalto.

Termistor PTC (Coeficiente de temperatura positivo) Sensores indicados para cambios drásticos en la resistencia y la temperatura que se desea controlar. En este caso, al aumentar la temperatura, su resistencia aumenta. Están contruidos principalmente en titanio de bario.

En la figura 8 se muestra las simbologías de estos dos tipos de termistores

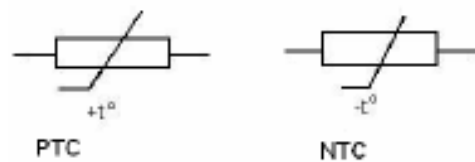


Figura 8 Simbología de termistores PTC Y NTC

Fuente: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/627/5/A5.pdf>

Entre ellos los termistores NTC son los más comunes y pueden operar dentro de un intervalo de temperatura que va de -200°C a 1000°C . Por otro lado, los termistores PTC también se emplean para medición de temperatura y son comúnmente usados en aplicaciones de control.

Las aplicaciones de los termistores se pueden dividir entre las que están basadas en un calentamiento externo del termistor que son aquellas relativas a la medida, control, y compensación de la temperatura y las que se basan en el empleo en circuitos de medida (caudal, nivel y análisis de composición de gases) aprovechando sus características.

Los termistores sirven para la medición o detección de temperatura tanto en gases, como en líquidos o sólidos. En la figura 9 se muestra las formas constructivas del termistor y también su simbología.

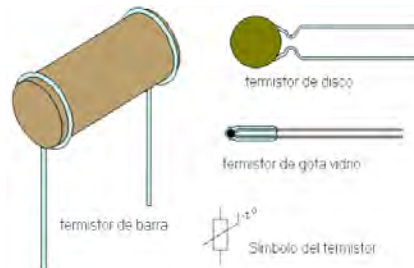


Figura 9 Formas constructivas de termistor y simbología

Fuente: https://www.academia.edu/28852673/SENSORES_DE_TEMPERATURA_Industriales

Bimetálicos

Consiste en un indicador o dispositivo de registro, un elemento sensor denominado bulbo bimetálico y un medio que conecta ambos. En la figura 10 se muestra un termómetro bimetálico.



Figura 10 Termómetro bimetálico

Fuente: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/627/5/A5.pdf>

Su principio de funcionamiento se basa en el empleo de una tira bimetálica como se muestra en la figura 11, que consiste en la unión de dos piezas de metal con diferentes coeficientes de expansión térmica. Estos dispositivos son empleados para la medición de temperaturas de líquidos y gases en contenedores, calderas o bien la medición de temperatura del aceite en transformadores de potencia.

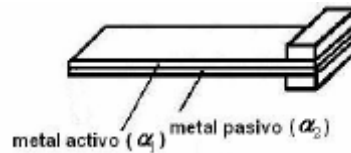


Figura 11 Estructura de una tira bimetalica

Fuente: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/627/5/A5.pdf>

2.2.1.2 Sensores de no contacto

Llamados comúnmente pirómetros, son instrumento que se utiliza para medir temperaturas a distancia, tienen un rango de temperatura demasiado amplio, que va desde los -40°C hasta los 4000°C . Se emplea sobre todo para medir objetos o sustancias en movimiento, o en lugares donde se requiere una medición sin contacto. Se usa, por ejemplo, para medir la temperatura en hornos, metales incandescentes o gases.

Su funcionamiento depende del tipo de pirómetro que se esté utilizando, pero están formados por varias características en común que componen su sistema completo:

- Tienen sistema que recoge la energía emitida por el objeto.
- Detector que convierte dicha energía en una señal eléctrica.
- Un sistema que ajuste la emisividad para hacer coincidir la calibración del termómetro con las características de emisión específicas del objeto.
- Un circuito de compensación de la temperatura ambiente que garantiza que las variaciones de temperatura dentro del sensor debidas a las condiciones ambientales no afectaran a la precisión.

En la figura 12 se muestra el diagrama de funcionamiento y los componentes de un pirómetro óptico.

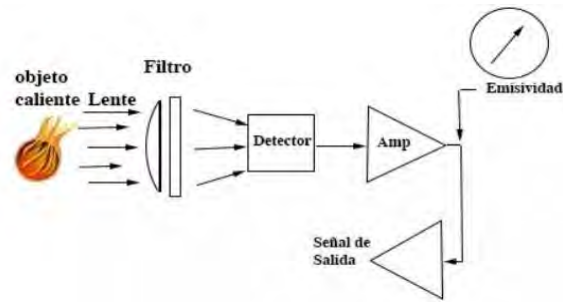


Figura 12 Diagrama esquemático de funcionamiento del pirómetro óptico
Fuente: <https://www.ingmecafenix.com/medicion/pirometro/>

Tipos de pirómetro

Existen cuatro tipos según la forma en que estos captan la radiación de la temperatura.

Pirómetro óptico

Es aquel que puede medir la temperatura de una sustancia a partir de la radiación que emana de su cuerpo, para lo cual no necesita estar en contacto con ella. Funciona comparando el brillo de la luz que emite la sustancia con el de una fuente estándar. Se utiliza tanto para medir la temperatura de gases como de cuerpos incandescentes. De hecho, puede medir temperaturas superiores a los 1.000 °C. En la figura 13 se muestra un pirómetro óptico.



Figura 13 Pirómetro óptico
Fuente: <https://www.ingmecafenix.com/medicion/pirometro/>

Pirómetro de radiación

El pirómetro de radiación capta la radiación emitida por el cuerpo cuya temperatura se quiere determinar. Este tipo de pirómetro se funda en la ley Stefan-Boltzman. Es capaz de medir temperaturas que se ubiquen entre los 550 °C y los 1.600 °C. En la figura 14 se muestra un pirómetro de radiación.



Figura 14 Pirómetro de radiación

Fuente: <https://www.ingmecafenix.com/medicion/pirometro/>

Pirómetro infrarrojo

El funcionamiento de este tipo de pirómetro se basa en que cualquier cuerpo que tiene una temperatura por encima de 0°C irradiará una determinada energía. Se caracteriza por ser un sensor de alta precisión para amplios rangos de temperatura. Son compactos de alta calidad y de bajo costo, miden la temperatura de objetos y materiales inaccesibles o en movimiento. En la figura 15 se muestra un sensor de temperatura infrarrojo.



Figura 15 Sensor de temperatura infrarrojo

Fuente: <https://www.logicbus.com.mx/sensores-temperatura.php>

2.2.2 Componentes hidráulicos

2.2.2.1 Acumuladores

Los acumuladores son recipientes que almacenan el aceite hidráulico a presión diseñado para aguantar la presión máxima del sistema y pensado para acumular energía en forma de volumen de aceite que se puede utilizar en un momento determinado. En la figura 16 se muestra un acumulador hidráulico de vejiga.

El depósito de aceite y presión que contienen los acumuladores proporciona cuatro funciones básicas en los sistemas hidráulicos móviles.

1. Compensa las variaciones de flujo.
2. Mantiene una presión constante.
3. Absorbe los impactos.
4. Proporciona presión y flujo de emergencia.



Figura 16 Acumulador hidráulico de vejiga
Fuente: <http://www.fequsa.com/acumuladores.html>

Hay tres tipos básicos de acumuladores:

Acumulador contrapesado

El acumulador contrapesado es el tipo de acumulador más antiguo la cual se muestra en la figura 17. Consta de un cilindro, pistón, empaquetadura (sellos) y una pesa. A medida que la presión del sistema aumenta, el cilindro se llena de aceite, el pistón y la pesa son empujados hacia arriba. A medida que la presión del sistema disminuye, se fuerza al pistón a que descienda, haciendo que el aceite regrese al sistema.

El acumulador proporciona una presión estable, pero es demasiado pesado y voluminoso para los sistemas móviles.

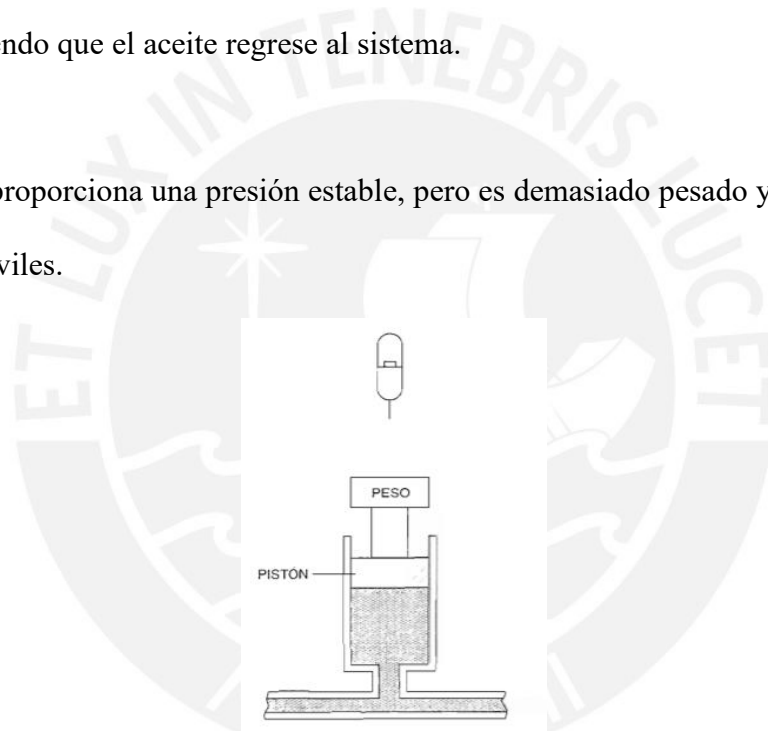


Figura 17 Acumulador cargado con peso

Fuente: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/publilppm/2014/Libros/11/Funda-Hidrau/18.pdf>

Acumulador de resorte

El acumulador de resorte consta de un resorte, un pistón y un cilindro que se puede apreciar en la figura 18. A medida que la presión del sistema aumenta, el cilindro se llena de aceite, haciendo que el pistón suba y comprima el resorte. Cuando la presión del sistema disminuye, el resorte se descomprime, haciendo que el aceite regrese al sistema. Los acumuladores de

resorte si bien son menos voluminosos se utilizan raras veces en sistemas hidráulicos móviles. La desventaja es que no descarga con presión constante, debido a que el nivel de fuerza del resorte disminuye conforme se descomprime.

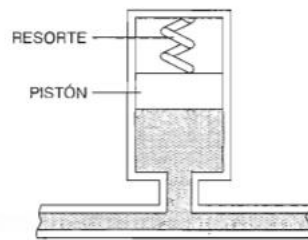


Figura 18 Acumulador cargado con resorte

Fuente: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/publilppm/2014/Libros/11/Funda-Hidrau/18.pdf>

Acumulador cargado por gas

El acumulador cargado con gas es el tipo de acumulador que más se utiliza. Consta de un cilindro, un pistón o cámara de aire y una válvula de carga como se puede apreciar en la figura 19. El aceite que entra en el cilindro empuja el pistón comprimiendo el gas. A medida que la presión disminuye, el gas se expande, haciendo que el aceite salga. El acumulador cargado con gas es versátil, potente y exacto, pero requiere un mantenimiento cuidadoso. La ventaja principal de este tipo de acumulador es que la presión en la cual el aceite es almacenado puede ser cambiado fácilmente, modificando la presión de precarga, en un acumulador cargado podría requerir cambiar la carga del pistón lo cual es más difícil. La desventaja es que no descarga a una presión constante.

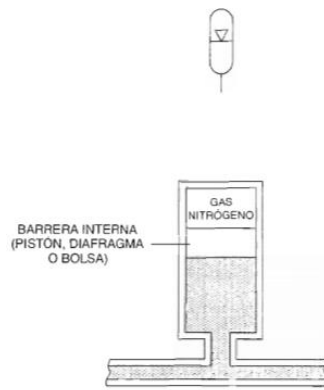


Figura 19 Acumulador cargado con gas

Fuente: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/publilppm/2014/Libros/11/Funda-Hidrau/18.pdf>

2.2.2.2 Válvulas hidráulicas

Las válvulas hidráulicas son elementos de regulación, de control y mando de la circulación de fluido hidráulico por el interior de un circuito. Existen diversos tipos de válvulas de acuerdo a su finalidad tales como válvulas controladoras de presión, de caudal, válvulas direccionales o distribuidoras, válvulas de bloqueo o válvulas de cierre.

Válvulas reguladoras de presión

Este tipo de válvulas actúan cuando la presión del fluido en el interior del circuito alcanza un cierto valor, llamado también valor de tarado.

Según su función las válvulas de presión se clasifican en:

Válvulas de seguridad

Protegen al circuito de sobrepresiones. Son válvulas normalmente cerradas, que cuando se alcance una presión límite se activan y descargan el fluido. En la figura 20 se muestra la posición de este tipo de válvula.

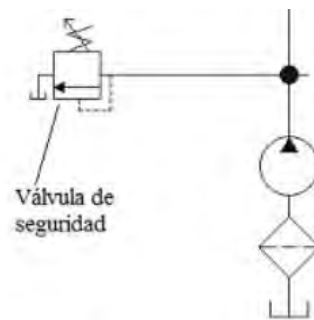


Figura 20 Circuito hidráulico válvula de seguridad
Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn212.html>

Válvulas de compensación de carga:

Se utilizan para mantener una presión mínima aguas arriba, para evitar que se produzca el fenómeno de embalamiento por ausencia de una resistencia en el circuito, por ejemplo, en la bajada de los pistones que elevan la caja de carga de un camión volquete-basculante. En la figura 21 se muestra la posición de este tipo de válvula.

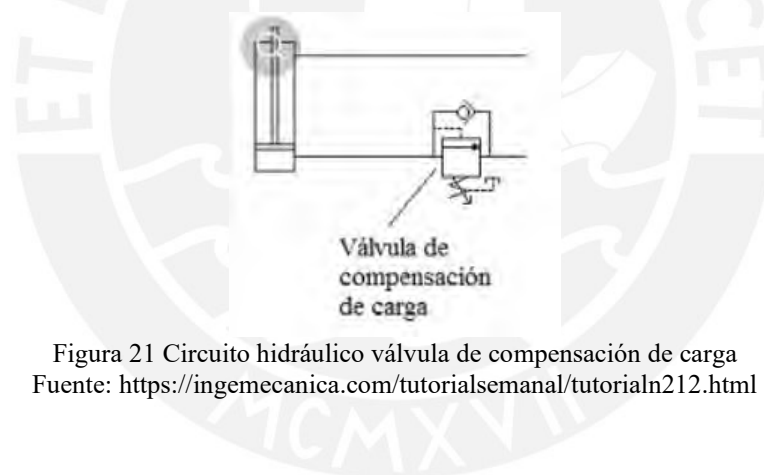


Figura 21 Circuito hidráulico válvula de compensación de carga
Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn212.html>

Válvulas reguladoras de caudal

Limitan el caudal máximo que circula por el circuito, derivando el exceso de caudal al tanque de retorno. Las válvulas reguladoras de caudal tienen también muchas aplicaciones dentro de los sistemas hidráulicos ya que sirven para variar la velocidad de los movimientos. En la figura 22 se muestra una representación esquemática de este tipo de regulador.

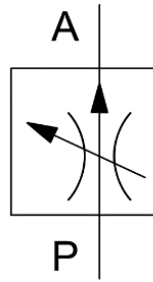


Figura 22 Representación esquemática válvula de caudal

Fuente: <http://informefebrerotanquehidraulico828826.logspot.com/2015/04/valvulas-de-bloqueo-y-valvulas-de.html>

Válvulas direccionales o distribuidoras

Una válvula direccional es una válvula que detiene, desvía o invierte; o distribuye el flujo dentro del circuito hidráulico. Las hay de varios tipos:

Válvulas antirretornos

Permiten el paso de un fluido en un solo sentido y lo impide en el contrario. Se trata de una válvula normalmente cerrada por medio de un cono o una bola, presurizados contra su asiento mediante un resorte. En la figura 23 se muestra su diagrama esquemático.

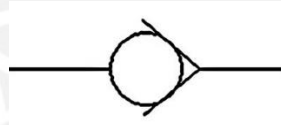


Figura 23 Representación esquemática válvula antirretorno

Fuente: https://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/20022013/ca/es-an_2013022013_9163854/ODE-56aa9b02-9b10-362f-918d-71a8d4025a81/32_distribucion_regulacion_y_control.html

Válvulas distribuidoras

Consisten de un cuerpo con pasajes internos, que son conectadas y desconectadas por una parte móvil llamada carrete. Las conexiones u orificios se suelen denominar: P, para la línea de presión; T, la del retorno a tanque; A y B las distintas líneas a actuadores, como se muestra en la figura 24.

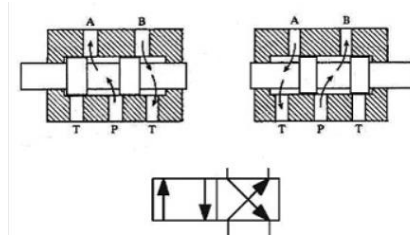


Figura 24 Representación esquemática válvulas distribuidoras
 Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn212.html>

En la tabla 5 se muestra las características que se pueden identificar en las válvulas distribuidoras como son el número de posiciones, el número de vías, el tipo de centro y el tipo de accionamiento.

Tabla 5 Características de válvulas direccionales.
 Fuente: <https://www.hidranaven.com/pdf/direccionales.pdf> . Adaptado

Número de posiciones					
	Dos posiciones		Tres posiciones		
Número de vías					
	Dos vías	Tres vías	Cuatro vías		
Tipo de centro					
	Centro cerrado	Centro abierto	Centro tándem	Centro flotante	
Tipo de accionamiento					
	Resorte	Pistón	Rodillo	Manual	Botón
	Palanca	Pedal	Solenoide	Piloto neumático	Piloto hidráulico

El número de posiciones de la válvula direccional nos indica los espacios sobre el cual se puede desplazar el carrete de la válvula. El número de vías hace referencia al número de conexiones de entrada y salida que posee la válvula. El tipo de centro (principalmente para válvulas de 4 vías) indica la comunicación entre las entradas y salidas cuando no se ejerce accionamiento sobre la válvula. El tipo de accionamiento se relacionan con los diferentes mecanismos para el desplazamiento del carrete.

2.2.2.3 Cilindros hidráulicos

El cilindro actuador es el elemento final que transmite la energía mecánica o empuje que se obtiene de la presión de un líquido mayormente aceite, a la carga que se desee mover o desplazar. Aunque hay actuadores de tipo rotativo, los más conocidos son los cilindros lineales. En la figura 25 se muestra que el cilindro hidráulico está compuesto básicamente en dos piezas: un cilindro barril y un pistón o émbolo móvil conectado a un vástago. El cilindro barril está cerrado por los dos extremos, en uno está el fondo y en el otro, la cabeza por donde se introduce el pistón, que tiene una perforación por donde sale el vástago. El pistón divide el interior del cilindro en dos cámaras: la cámara inferior y la cámara del vástago. La presión hidráulica actúa en el pistón para producir el movimiento lineal.

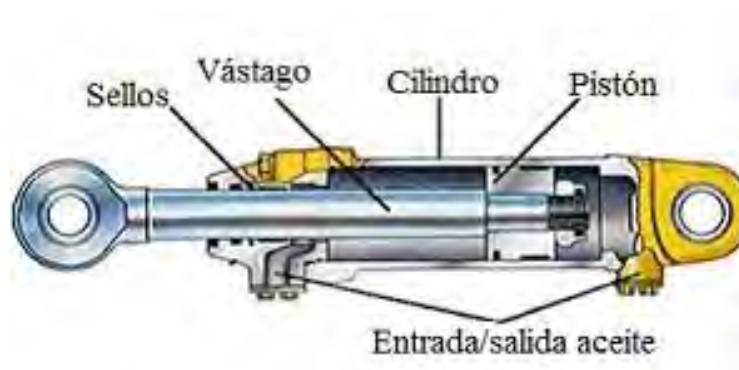


Figura 25 Componentes del cilindro hidráulico
Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn212.html>
Los cilindros lineales pueden ser de simple o de doble efecto.

Cilindros de simple efecto

En este tipo de cilindro el aceite entra sólo por un lado del émbolo, por lo que sólo puede transmitir esfuerzo en un sentido. El retroceso se consigue bien por el peso propio del cilindro, bien por la acción de un muelle como se muestra en la figura 26 o por una fuerza exterior (ejemplo, la propia carga que se eleva). A simple vista se pueden identificar al tener solo una conexión hidráulica.

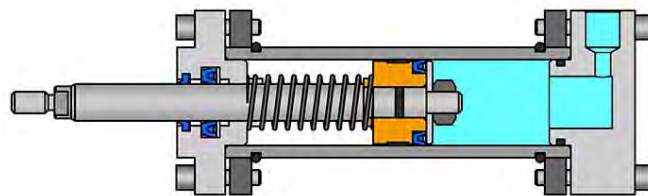


Figura 26 Cilindro hidráulico de simple efecto
Fuente: <http://www.hydraulic-calculation.com/es/article.php?ID=16>

Cilindros de doble efecto

En este tipo de cilindro el aceite puede entrar por los dos lados del émbolo, por lo que puede transmitir esfuerzo en los dos sentidos del movimiento. Tienen dos conexiones hidráulicas como se muestra en la figura 27, una de ellas para extraer el pistón y la otra para contraer el pistón por medio de los componentes del circuito hidráulico.

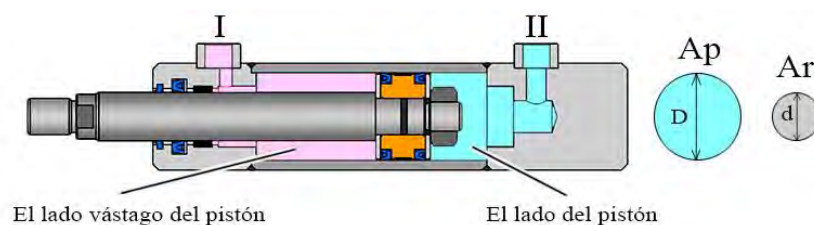


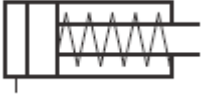
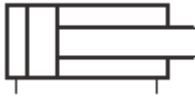
Figura 27 Cilindro hidráulico de doble efecto
Fuente: <http://www.hydraulic-calculation.com/es/article.php?ID=16>

En la tabla 6 se presenta las características distintivas entre estos dos tipos de cilindro.

Tabla 6 Comparación entre los cilindros de simple y doble efecto

Fuente: <https://www.roemheld>

gruppe.de/fileadmin/user_upload/downloads/technische_informationen/Wissenswertes_Hydraulikzylinder_es_0212.pdf. Adaptado

Características	Simple efecto	Doble efecto
Símbolo		
Generación de fuerza	Solo en una dirección del eje	En ambas direcciones del eje
Avance/ Retroceso	En la dirección efectiva con presión hidráulica Retroceso con muelle o fuerza externa	En ambas direcciones con presión hidráulica
Fuerza retorno	Pequeña, en casos generales sólo fuerzas de muelle mínimas	Elevada ya que es hidráulica
Tiempos de desplazamiento	A causa del retroceso por muelle exactamente definibles fuertemente dependientes de la sección de los tubos y de la viscosidad del aceite	Exactamente definibles y exactamente repetibles
Seguridad de funcionamiento	Posibles fallos a causa de la ruptura del muelle	Seguridad elevada de funcionamiento

2.2.2.4 Sensores de presión hidráulica

Un sensor de presión hidráulico es un dispositivo que mide la presión de líquidos. En general, los sensores de presión funcionan como un transductor; es decir, generan una señal en función de la presión a la que se someten. Los más utilizados en aplicaciones de monitoreo y control son los sensores de presión electrónicos los cuales entregan una señal normalizada, normalmente de 4 a 20mA. En aplicaciones hidráulicas se pueden distinguir transductores de presión electrónicos propiamente dichos como también presostatos electrónicos

Los transductores de presión electrónicos registran la presión y la convierten en una señal de salida proporcional que es enviada a una unidad de control para su procesamiento. En la figura 28 se muestra un transductor de presión electrónico.

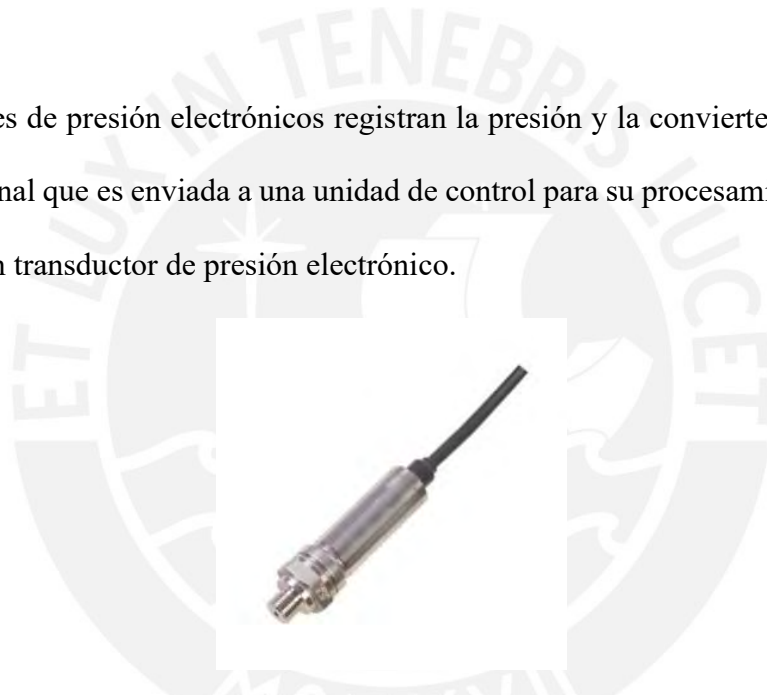


Figura 28 Transductor de presión

Fuente: https://es.omega.com/Pressure/images/PXM409_1.jpg

En cambio, los presostatos electrónicos, la cual se muestra en la figura 29, emiten una señal de conmutación según el valor preajustado de presión que permite abrir o cerrar un circuito.



Figura 29 Presostato electrónico

Fuente: <https://www.hnsa.com.co/wp-content/uploads/2015/02/Pre%C3%B3stato-2.png>

2.2.2.5 Sensores de caudal hidráulico

Los sensores de caudal hidráulico o también llamados caudalímetros, los cuales se muestran en la figura 30, permiten medir el caudal de un líquido que pasa a través de una tubería o un espacio abierto. En la actualidad existe una variedad de aplicaciones de estos dispositivos que cumplen con su propósito, los cuales se diferencian por el principio de medición que emplean y su diseño.

Las consideraciones principales para la selección de un caudalímetro son la densidad y viscosidad del líquido, la presión de trabajo, la temperatura y la velocidad del flujo, las cuales se deben conocer de antemano.



Figura 30 Sensor de caudal

Fuente:

https://www.ifm.com/responsive/medium/fourbythree/content/gallery/productgroups/P_F_WH_W_300_0044.JPG?v=520052308

Los principios de medición que emplean los sensores de caudal hidráulico y que son los más empleados se listan a continuación:

- De presión diferencial: se basa en la medición de presión en un paso reducido por donde circula el fluido y partir de ella se determina la velocidad del caudal para un fluido de densidad constante. Aquí están las placas orificio, tobera, Venturi y Pitot.
- Flujómetros electromagnéticos: se basan en la ley de Faraday en donde el fluido en movimiento atraviesa un campo magnético constante suministrado por el dispositivo y de esta manera se induce un voltaje. Estos caudalímetros requieren que el fluido a medir cuente con un mínimo de conductividad.
- Turbina: se basa en el uso de piezas rotantes que son impulsadas por el fluido y giran a una velocidad proporcional al caudal del fluido. No son aptos para medir fluidos muy viscosos ni con arrastre de sólidos.
- Ultrasonido: se basa en la propagación de ondas a través de un fluido. Existen dos principios básicos para esta medición: tiempo de tránsito y efecto Doppler.
- De desplazamiento positivo: se basa en el llenado de cámaras de volumen conocido que luego son vaciadas. El caudal del fluido se determina contando el número de cámaras llenadas en un determinado tiempo.
- Vortex: se basa en la colocación de un obstáculo que se opone al avance del fluido, un elemento sensor determina la frecuencia de desprendimiento de los vórtices y con la ayuda de una electrónica se da una señal en pulsos u otra señal normalizada.
- Flujómetros másicos: se basan en la medición de la masa que circula por unidad de tiempo. Los tipos más usados son Coriolis y másicos térmicos.

2.2.3 Controladores industriales

2.2.3.1 PLC

Un PLC (controlador lógico programable) es una computadora industrial, la cual se muestra en la figura 31, que procesa todos los datos de una máquina como pueden ser sensores, botones, temporizadores y cualquier señal de entrada. Para posteriormente controlar los actuadores como pistones, motores y válvulas, y así poder controlar cualquier proceso industrial de manera automática.



Figura 31 Controlador Lógico programable

<https://www.ingmecafenix.com/wp-content/uploads/2018/01/PLC-1-300x181.jpg>

Para que un PLC pueda procesar y controlar cualquier sistema se requiere que este previamente programado para la tarea que va a realizar. Para programarlo se necesita un software que es específico dependiendo la marca y del programa. Cada programa cuenta con diversos lenguajes de programación.

2.2.3.2 DCS

El DCS (sistema de control distribuido), la cual se muestra en la figura 32, es un sistema de control aplicado a procesos industriales complejos. Muy utilizado en las industrias de petróleo, de metalurgia, de generación eléctrica y de tratamiento de agua.



Figura 32 Sistema de control distribuido

<http://www.automatiaeinstrumentacion.com/es/img2/2019/12/emerson-pdp-deltav-m-series-mq-controller-28675.jpg>

Los sistemas de control distribuido se caracterizan por:

- Contar con una sola base de datos integrada para todas las señales, variables, objetos gráficos, alarmas y eventos del sistema.
- Contar con una plataforma de programación multiusuario que permita a los programadores trabajar de forma simultánea y sin generar conflicto de versiones.
- Contar con un conjunto de herramientas para la configuración de base de datos, la lógica de control, los gráficos y la seguridad del sistema.
- Contar con robustez y fiabilidad, contando con redundancia a nivel de controladores, redes y buses de comunicación, módulos de entrada y salida, y sistemas informáticos.
- Permitir la escalabilidad pues se puede manejar miles de puntos de E/S y manejar fácilmente nuevos equipos, mejoras de procesos e integración de datos.

Capítulo 3 Diseño de la propuesta

En el presente capítulo tiene como finalidad obtener el concepto de solución óptimo del sistema. Inicialmente se definen los requerimientos del sistema y la estructura de funciones y se culmina con una evaluación técnica – económica que determina la mejor solución de tres conceptos de solución presentados, los cuales se obtienen como resultado de la combinación de las alternativas de solución de cada una de las funciones que se definen en la estructura de funciones.

3.1 Requerimientos del sistema

En esta sección se presenta los requerimientos del sistema las cuales sean dividido en requerimientos mecánicos, eléctricos, de control, de funcionamiento, de seguridad y de mantenimiento.

3.1.1 Requerimientos mecánicos

- Resistencia de los componentes del sistema de inyección a la temperatura con el que se trabaja el metal fundido, para el caso del zamak, oscila alrededor de 410°C.

3.1.2 Requerimientos de eléctricos

- La alimentación general del sistema debe ser de 220 VAC – 60HZ.

3.1.3 Requerimientos de control

- Regular la velocidad y fuerza del pistón de inyección para una inyección óptima de zamak teniendo en consideración el caudal y presión en el circuito hidráulico.
- Monitorear la temperatura del zamak fundido la cual se debe encontrar a una temperatura por arriba de su punto de fusión. Se considera una temperatura adecuada a 410°C (punto de seteo).
- Monitorear la temperatura del molde la cual se debe encontrar en un intervalo de 136 a 146°C para la correcta solidificación del zamak fundido.

3.1.4 Requerimientos de funcionamiento

- Operación del sistema de inyección a una velocidad 150 ciclos por hora.

3.1.5 Requerimientos de seguridad

- El interfaz no debe estar ubicado en la zona de inyección por ser una zona de elevadas temperaturas.
- La inyección del metal fundido debe ser tal que no provoque salpicaduras del zamak fundido al exterior.

3.1.6 Requerimientos de mantenimiento

- La disposición de los componentes del sistema debe permitir un fácil mantenimiento de estos.

3.2 Estructura de funciones

En esta sección se describen las entradas y salidas del sistema, y las funciones internas que debe realizar el sistema a desarrollar. Además, se presenta un diagrama de la estructura de funciones en donde se muestra la interacción entre las entradas, las salidas y las funciones del sistema.

3.2.1 Entradas del sistema

A continuación, se definen las entradas del sistema

- Temperatura del molde: temperatura superficial del molde en cuya cavidad se inyecta el zamak fundido.
- Temperatura del zamak fundido: temperatura a la cual el zamak se encuentra fundido.
- Zamak fundido: metal en estado líquido a inyectarse mediante el cilindro hidráulico.
- Energía hidráulica: energía principal que rige el movimiento del cilindro hidráulico.
- Energía eléctrica: energía de alimentación del sistema a 220 VAC 60 Hz que deberá ser regulada para la alimentación de los demás componentes del sistema como los sensores, actuadores, el controlador y otros dispositivos.

- Iniciar/Detener/Apagar: señal recibida para el inicio, detención y apagado del sistema.

3.2.2 Salidas del sistema

A continuación, se definen las salidas del sistema

- Información al operario: información visual sobre el número de ciclos por hora de la inyección, el número de inyecciones que se está realizando hasta determinado momento y las horas de funcionamiento, así como la temperatura del molde y del zamak fundido.
- Alarma de temperatura baja de zamak: notificación al operario cuando se detecta una temperatura del zamak fundido por debajo de la temperatura ideal para su inyección.
- Alarma de temperatura alta en molde: notificación al operario cuando la temperatura en el molde es superior a la requerida.
- Alarma de temperatura baja en molde: notificación al operario cuando la temperatura en el molde es inferior a la requerida.
- Ruido: energía que se pierde en forma de sonido.
- Calor: energía que se pierde por la fricción entre los componentes y el calentamiento del zamak.
- Vibraciones: energía mecánica que se pierde debido al movimiento robusto principalmente del cilindro hidráulico.
- Pieza de Zamak: pieza que se obtiene a partir de la inyección del zamak en el molde y su posterior solidificación en el interior de esta.

3.2.3 Funciones del sistema

Considerando las entradas y salidas del sistema, se definen las funciones del sistema repartidos en los dominios sensores, actuadores, control, interfaz, comunicación, energía y mecánica. En la figura 33 se muestra la estructura de funciones del sistema.

Estructura de Funciones

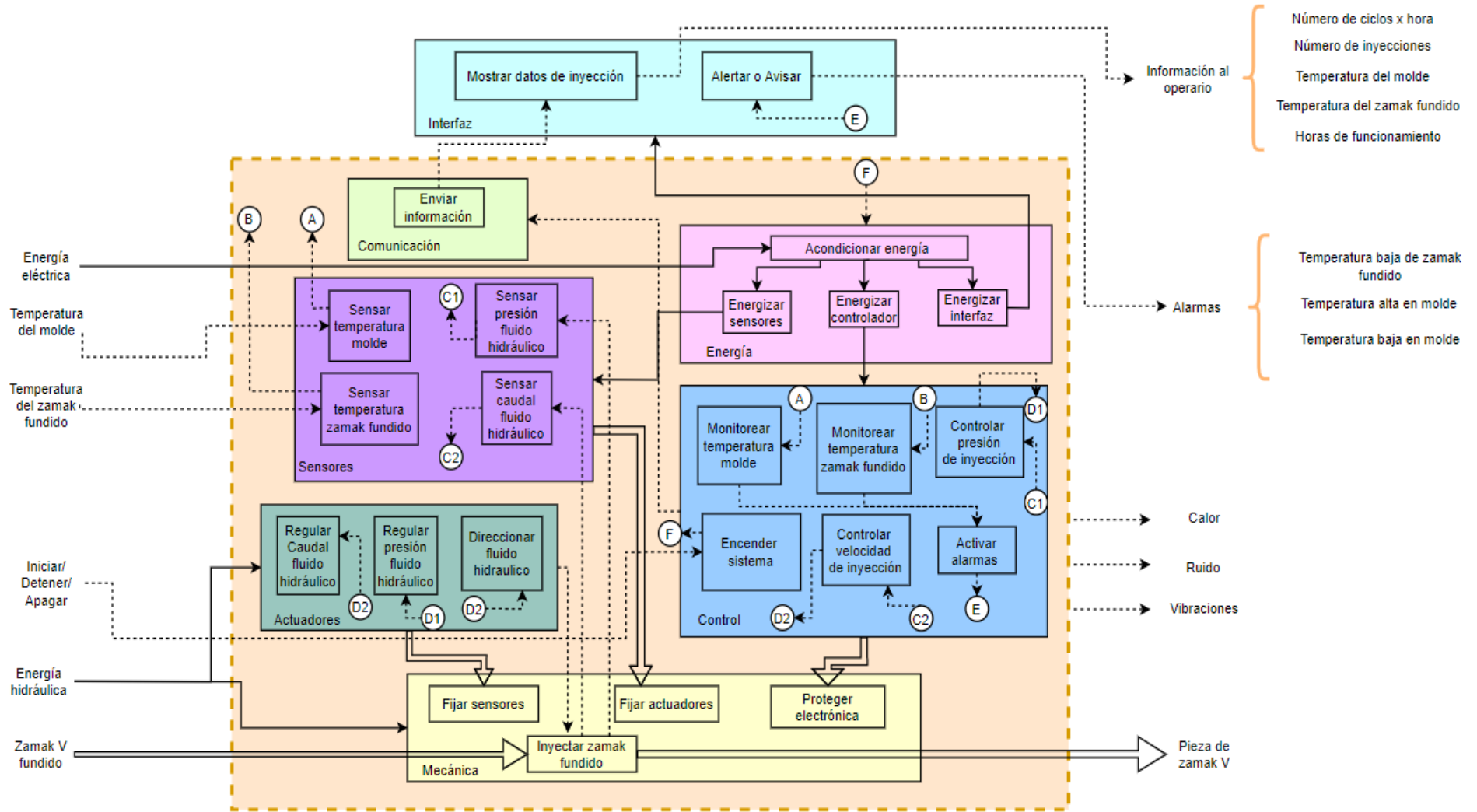


Figura 33 Diagrama de funciones del sistema de inyección

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describe la estructura de funciones del sistema

3.2.3.1 Dominio sensores

- Sensor temperatura molde: medición de la temperatura superficial del molde.
- Sensor temperatura zamak fundido: medición de la temperatura del zamak fundido.
- Sensor presión de fluido hidráulico: medición de la presión en el circuito hidráulico que gobierna la dinámica del cilindro.
- Sensor caudal de fluido hidráulico: medición del caudal en el circuito hidráulico que gobierna la cinemática del cilindro.

3.2.3.2 Dominio mecánico

- Fijar sensores: ubicación adecuada a los sensores teniendo en cuenta sus características de operación y las condiciones del ambiente.
- Fijar actuadores: ubicación adecuada a los actuadores teniendo en cuenta sus características de operación y las condiciones del ambiente.
- Proteger electrónica: evitar la afectación de los componentes electrónicos ante agentes externos como humedad, calor y corrosión.
- Inyectar zamak fundido: trasladar el zamak fundido desde el crisol hasta la cavidad del molde cuando esta se encuentre cerrada.

3.2.3.3 Dominio energía

Acondicionar energía y energizar: recibir la señal de 220 VAC 60 Hz y su posterior transformación a 12 o 24 VDC según requerimientos de los componentes del sistema como sensores, actuadores, el controlador y otros dispositivos.

3.2.3.4 Dominio de control

- Monitorear temperatura molde: recibir información de la temperatura del molde y comparar con valores mínimo y máximo permitidos para la obtención de una pieza de buena calidad.
- Monitorear temperatura zamak fundido: recibir información de la temperatura del zamak fundido y comparar con valor mínimo para la adecuada fundición del zamak.
- Controlar velocidad de inyección: regulación del caudal hidráulico que se materializa en la velocidad del cilindro la cual se desarrolla en tres etapas: en la carrera de vacío, al momento de llenado del zamak y en el retorno del pistón.
- Controlar fuerza de inyección: regulación de la presión hidráulica que se materializa en la fuerza que ejerce el cilindro sobre el zamak fundido en dos etapas: la presión de llenado y de mantenimiento.
- Activar alarmas: emitir las señales para la activación de las alarmas como resultado del monitoreo de la temperatura del molde y de la temperatura del zamak fundido
- Encender sistema: establecer el estado de funcionamiento del sistema (iniciar, detener, apagar).

3.2.3.5 Dominio de actuadores

- Regular caudal fluido hidráulico: establecer el caudal del fluido en el circuito hidráulico.
- Regular presión fluido hidráulico: establecer la presión del fluido en el circuito hidráulico.
- Direccionar fluido hidráulico: abrir y cerrar vías de paso del fluido para el movimiento del cilindro.

3.2.3.6 Dominio interfaz

- **Mostrar datos de inyección:** mostrar visualmente al operario información relevante del proceso de inyección como número de ciclos por hora, número de inyecciones, temperatura del molde, temperatura del zamak fundido, y horas de funcionamiento de la máquina.
- **Alertar o avisar:** notificar mediante sonido y/o luz el estado de alarma al operario.

3.2.3.7 Dominio comunicación












Enviar información: transmitir información del sistema a través un protocolo de comunicación a la interfaz






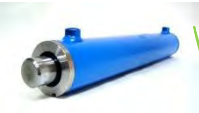

3.3 Matriz morfológica












En la presente sección se presentará las diferentes alternativas que permitirán realizar las funciones del sistema. Para ello, en la tabla 7, se muestra estas alternativas repartidas en las diferentes funciones y a la vez agrupadas por dominios (sensores, actuadores, control, interfaz, energía y mecánica).

Estas alternativas se agrupan para obtener los tres conceptos de solución. Las que son enlazadas con flechas de color naranja conforman las alternativas consideradas para el primer concepto de solución, las enlazadas con flechas de color verde conforman las alternativas consideradas para el segundo concepto de solución y las enlazadas con flechas de color azul conforman las alternativas consideradas para el tercer concepto de solución.

Tabla 7 Matriz morfológica
Fuente: Elaboración propia

Dominios	Funciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Sensores	Sensor temperatura molde	 Termopar de superficie	 Termoresistencia de superficie	 Pirómetro infrarrojo
	Sensor temperatura zamak fundido	 Termopar	 Termoresistencia	 Pirómetro infrarrojo
	Sensor presión de fluido hidráulico	 Sensor de presión magnético	 Sensor de presión capacitivo	 Sensor de presión Piezoeléctrico
	Sensor caudal hidráulico o velocidad del cilindro hidráulico	 Transductor de caudal hidráulico	 LVIT (Linear Variable Inductance transductor)	

Dominios	Funciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Actuadores	Regular caudal fluido hidráulico	 <p>Válvula proporcional reguladora de caudal</p>		
	Regular presión fluido hidráulico	 <p>Válvula proporcional de seguridad</p>	 <p>Válvula proporcional reguladora de presión</p>	
	Direccionar fluido hidráulico	 <p>Válvulas proporcionales direccionales</p>	 <p>Válvulas direccionales de solenoide</p>	
Mecánica	Inyectar zamak fundido	 <p>Cilindro de doble efecto</p>	 <p>Cilindro de simple efecto</p>	

Dominios		Funciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Control	Hardware	Control y monitoreo	 PLC	 Sistema de control distribuido	 PC+ DAQ (adquisición de datos)
Control	Software	Monitorear temperatura molde	Comparación de valores		
		Monitorear temperatura zamak fundido	Comparación de valores		
		Controlar velocidad de inyección	Control PID	Control rango partido	
		Controlar presión de inyección	Control PID	Control rango partido	
		Activar alarmas	Lógica booleana		
Energía	Recepcionar energía y energizar	 Fuente lineal	 Fuente conmutada	 Fuente 24 VDC Industrial	
Interfaz	Mostrar datos de inyección	 HMI	 Display Oled	 Display LCD	
	Alertar o avisar	 Indicador luminoso	 Indicador sonoro		

3.4 Conceptos de solución

En la presente sección a partir de la combinación de las alternativas planteadas para cada función del sistema en la matriz morfológica se obtienen tres conceptos de solución. Cada uno de los conceptos de solución se presenta con una breve descripción y un bosquejo, además de un diagrama hidráulico y un diagrama de bloques.

3.4.1 Concepto de solución 1

En el primer concepto para el monitoreo de las variables de temperatura del zamak fundido y temperatura del molde se emplearán una termorresistencia y un termopar de superficie respectivamente. Las señales emitidas por estos sensores serán enviadas al DCS (Sistema de control distribuido) para su monitoreo, en caso los valores de estas variables se encuentran fuera del rango se activarán las alarmas que para este caso serán sonoras. En la figura 34 se aprecia la disposición de los sensores de temperatura y el tablero de control en cuyo interior se ubica el DCS y va montado el HMI, los indicadores luminosos y el botón de emergencia.

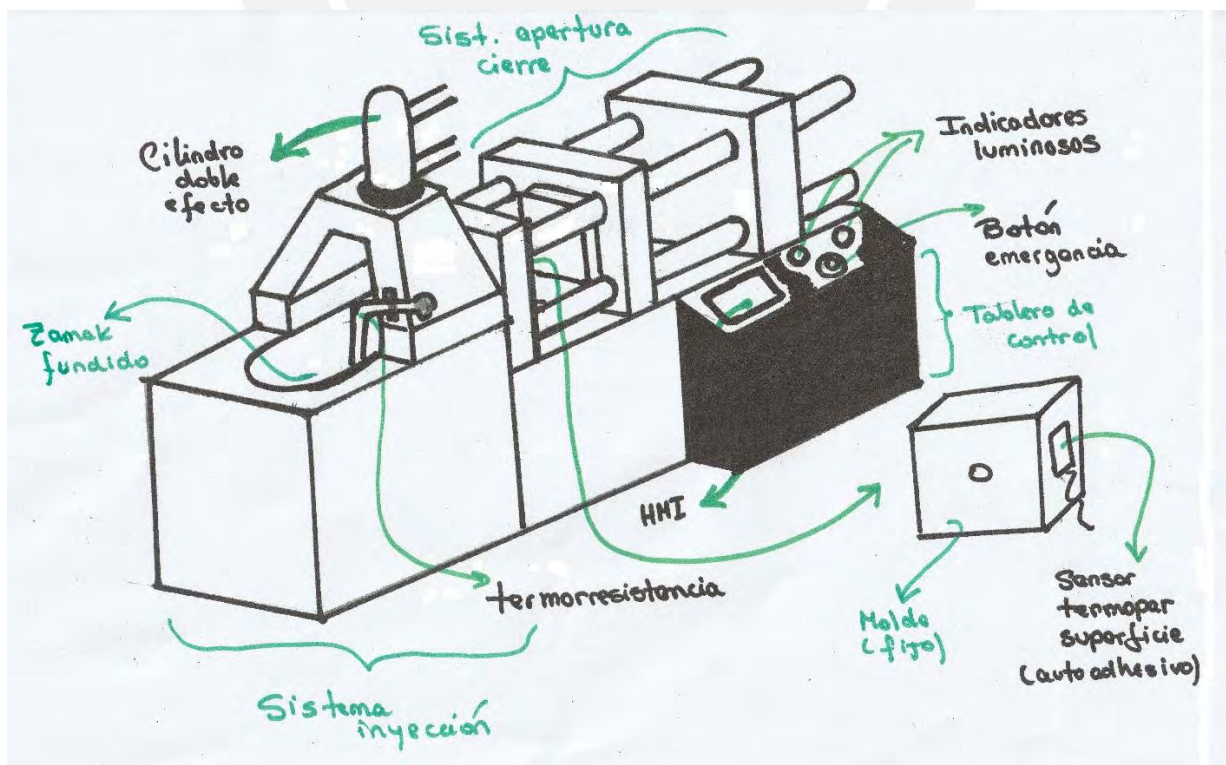


Figura 34 Bosquejo solución 1
Fuente: Elaboración propia

Diagrama hidráulico

Respecto al sistema hidráulico, se puede observar en la figura 35 el diagrama hidráulico donde se muestra los principales componentes. Se cuenta con una válvula proporcional direccional de 4 vías y 3 posiciones, la cual direcciona y regula el fluido hidráulico de la línea de presión (P) hacia las otras vías, entre ellas, las que se dirigen a las conexiones del cilindro hidráulico (A y B). También se cuenta con un transductor de caudal hidráulico el cual sensa el caudal. Asimismo, se cuenta con un cilindro hidráulico de doble efecto para la inyección del zamak fundido.

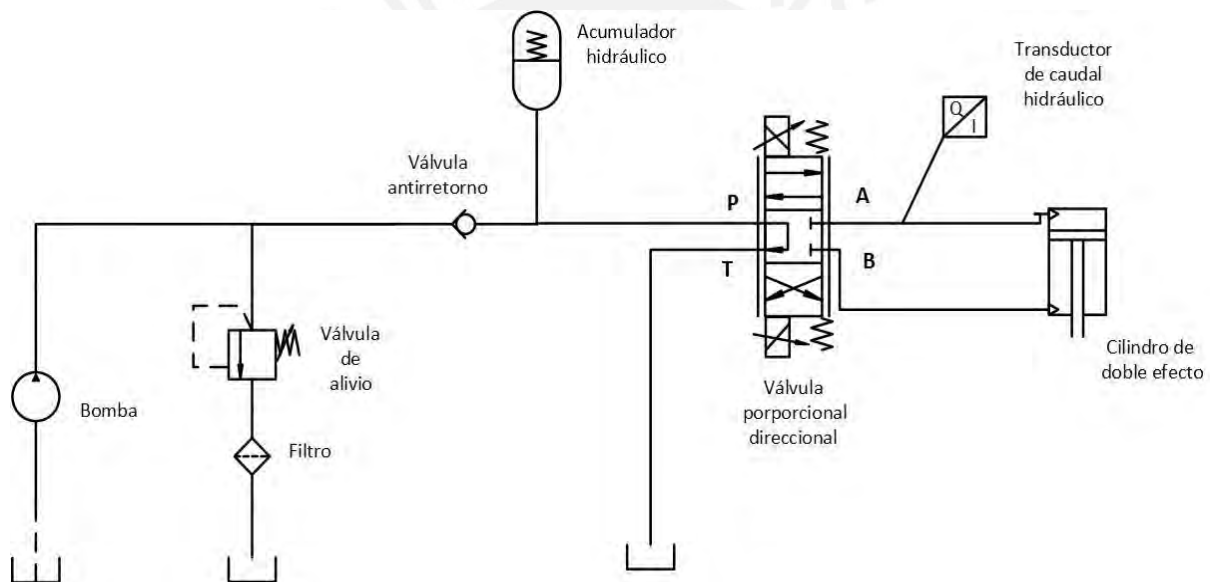


Figura 35 Diagrama hidráulico solución 1
Fuente: Elaboración propia

Diagrama de bloques

En el presente diagrama de bloques, la cual se muestra en la figura 36, se puede observar la interacción entre los sensores, los actuadores, el DCS y otros periféricos. Se visualiza la presencia de un lazo de control cerrado de caudal hidráulico, la cual se puede identificar por las líneas de color verde.

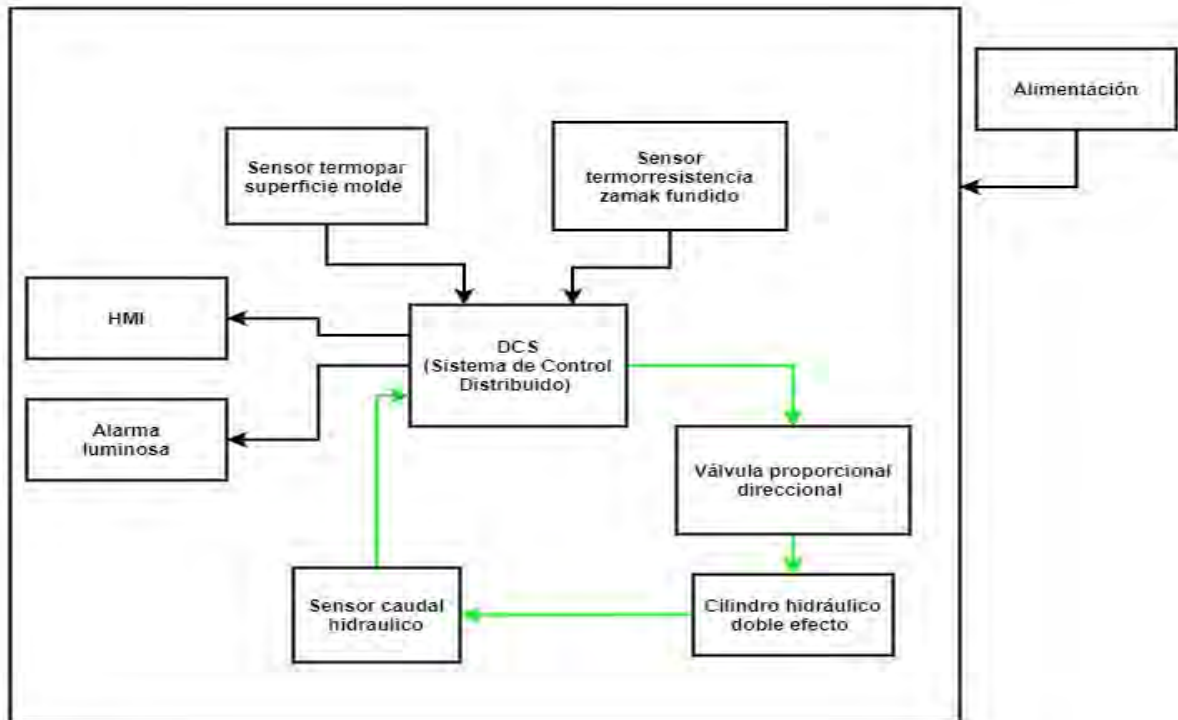


Figura 36 Diagrama de bloques solución 1
Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Concepto de solución 2

En el segundo concepto, la temperatura del zamak fundido será sensado por un termopar o también conocido como termocupla y la temperatura del molde por una termorresistencia de superficie. Las señales obtenidas a partir de estos sensores serán enviadas al PLC para su monitoreo y en caso estos no se encuentren dentro del rango requerido se activarán indicadores luminosos. En la figura 37 se aprecia la disposición de los sensores de temperatura y el tablero de control en cuyo interior se ubica el PLC y va montado el display LCD, los indicadores luminosos y el botón de emergencia.

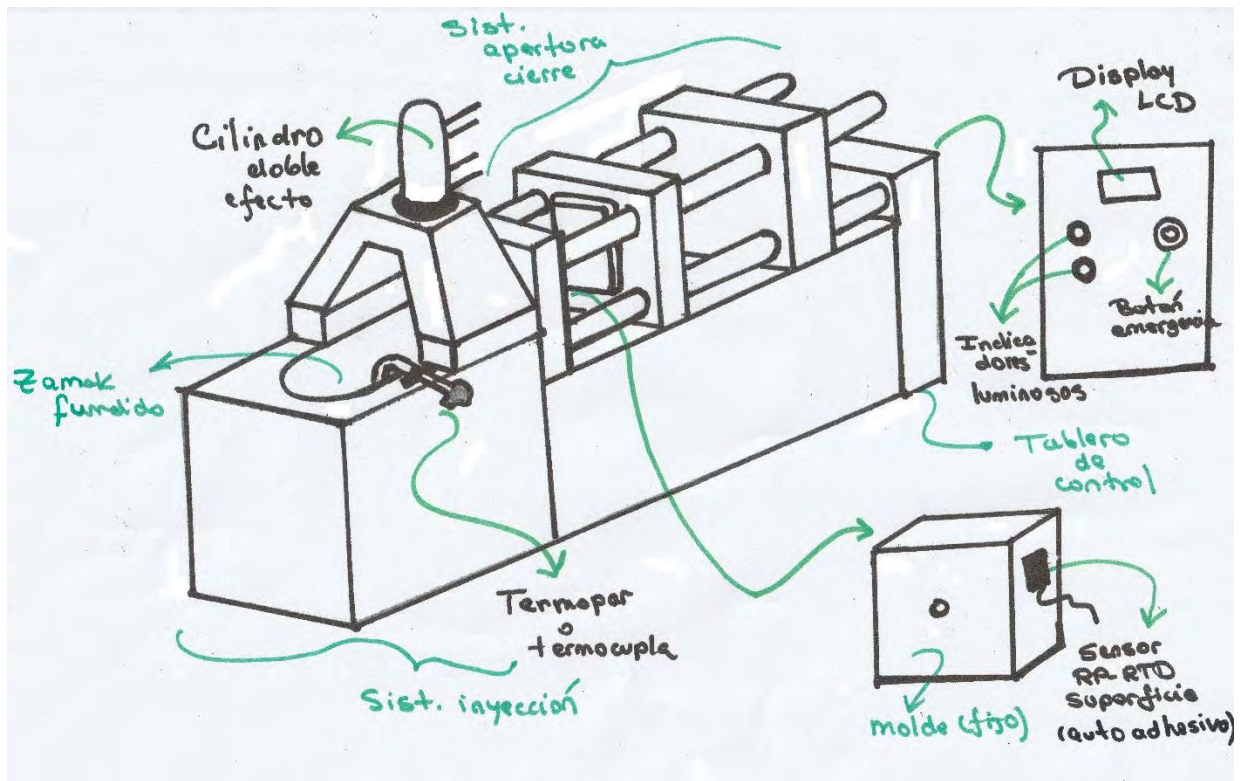


Figura 37 Bosquejo de solución 2
Fuente: Elaboración propia

Diagrama hidráulico

Respecto al sistema hidráulico, se puede observar en la figura 38 los componentes hidráulicos del sistema. Se cuenta con una válvula proporcional de seguridad, la cual permite regular la presión y con una válvula reguladora de caudal, la cual permite regular el caudal hidráulico. Ambas se ubican, en la línea de presión (P) que se conecta con una de las vías de la válvula direccional solenoide de 4 vías y 3 posiciones, la cual direcciona el caudal hidráulico del circuito. También se cuenta con un transductor de presión la cual sensa la presión del fluido hidráulico en la línea de presión. Asimismo, se cuenta con un cilindro hidráulico de doble efecto para la inyección del zamak fundido.

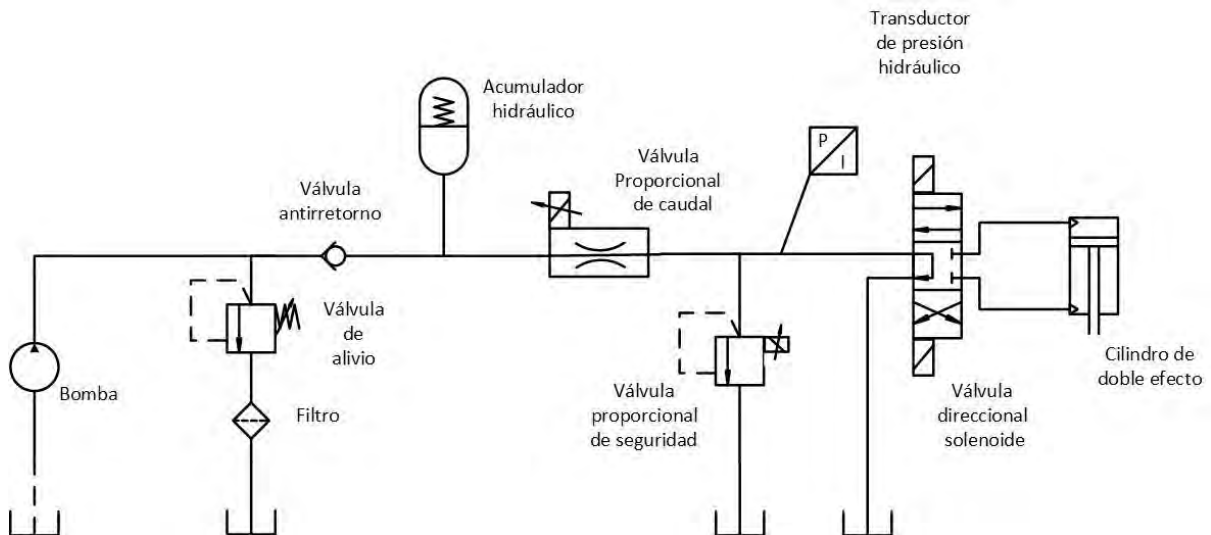


Figura 38 Diagrama hidráulico de solución 2
Fuente: Elaboración propia

Diagrama de bloques

En el presente diagrama de bloques, la cual se muestra en la figura 39, se puede observar la interacción entre sensores, actuadores, el PLC y otros periféricos. Se resalta la presencia de un control de lazo cerrado que para este caso es un control de rango partido (un elemento sensor), la cual se puede visualizar por las líneas de colores verde y naranja. La línea de color rosado corresponde a un control on-off.

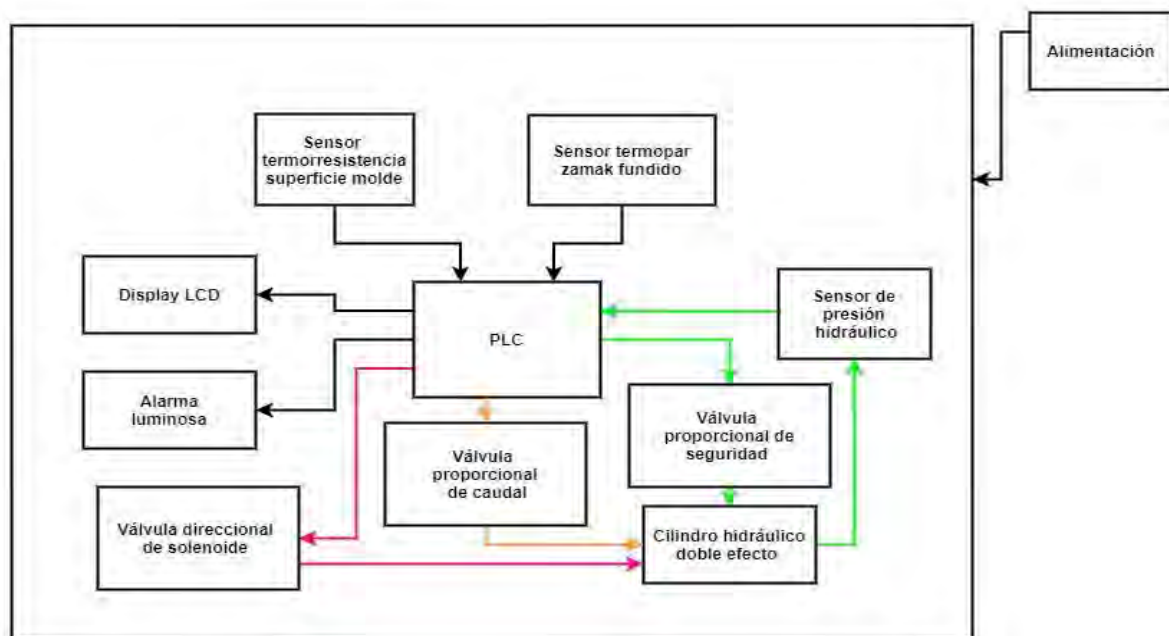


Figura 39 Diagrama de bloques solución 2
Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Concepto de solución 3

En este tercer concepto de solución, a diferencia de las anteriores soluciones para la medición de temperatura del zamak fundido y del molde se empleará sensores sin contacto de tecnología infrarroja. Las señales obtenidas serán procesadas por una PC más la tarjeta de adquisición de datos DAQ para el monitoreo de las variables. Cuando estas variables se encuentren fuera del rango se activará una alarma sonora que notificará al operario dichos eventos. En la figura 40 se aprecia la disposición de los sensores de temperatura y el tablero de control en cuyo interior se ubica la PC y la tarjeta de adquisición de datos y va montado sobre su superficie el display Oled, los indicadores sonoros y el botón de emergencia.

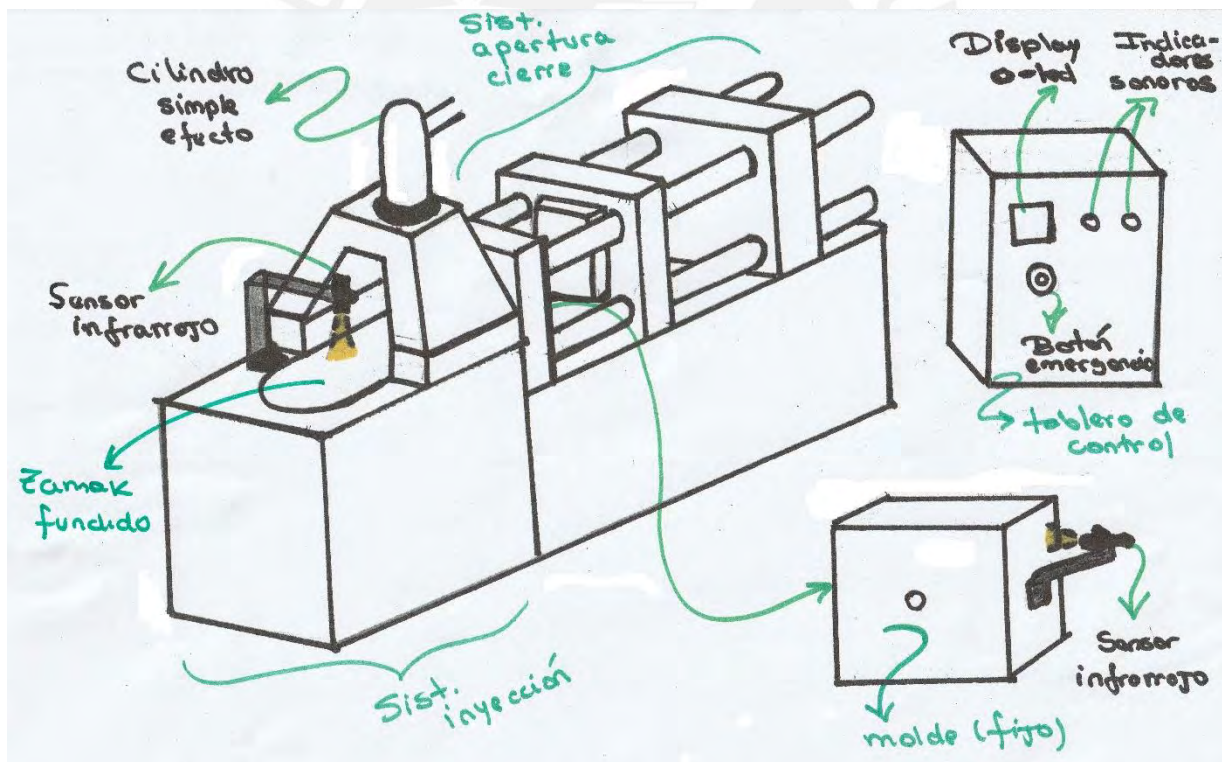


Figura 40 Bosquejo solución 3
Fuente: Elaboración propia

Diagrama hidráulico

Respecto al sistema hidráulico, en la figura 41 se muestra los componentes hidráulicos del sistema. Se cuenta con una válvula proporcional de caudal, la cual permitirá regular el caudal y que se ubica posterior a una válvula direccional, y con una válvula proporcional de presión, la cual permite regular la presión y que se ubica anterior a la válvula direccional. La válvula direccional es de 3 vías y 2 posiciones, y permite direccionar el caudal hidráulico en el circuito. También se cuenta con un sensor de posición (LVIT) que nos permitirá medir la velocidad del cilindro. Asimismo, se cuenta con un cilindro hidráulico de simple efecto para la inyección del zamak fundido.

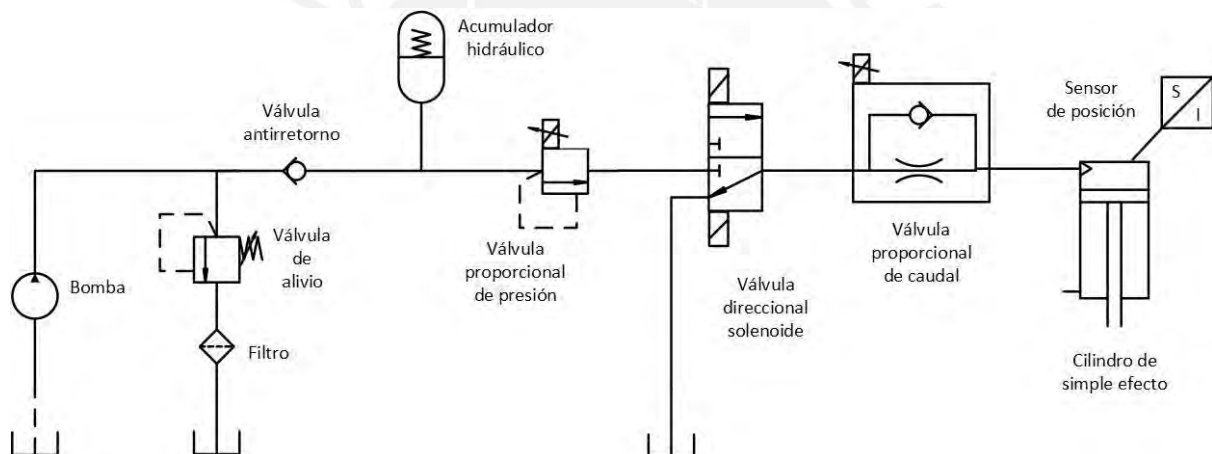


Figura 41 Diagrama hidráulico solución 3
Fuente: Elaboración propia

Diagrama de bloques

En el presente diagrama de bloques, la cual se muestra en la figura 42, se puede observar la interacción entre sensores, actuadores, PC y otros periféricos. Se resalta la presencia de un control de lazo cerrado que para este caso es un control de rango partido (un elemento sensor), esta se puede reconocer mediante las líneas de colores verdes y naranjas. La línea de color rosado corresponde a un control on-off.

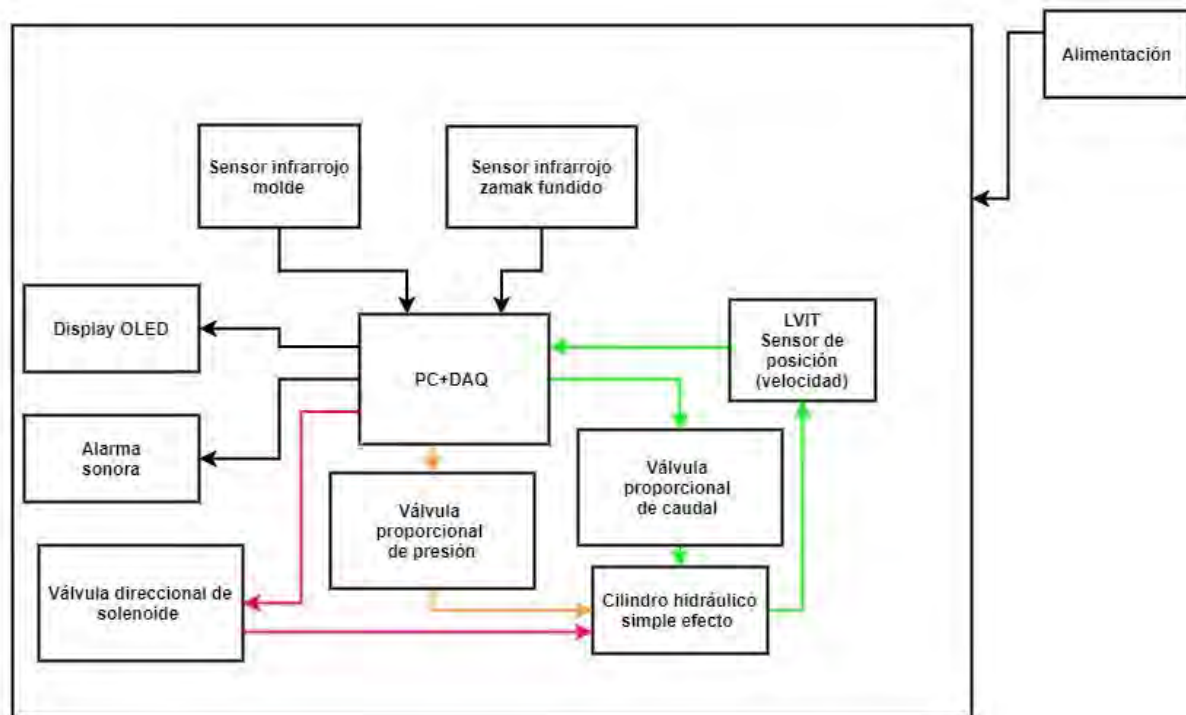


Figura 42 Diagrama de bloques solución 3
Fuente: Elaboración propia

3.5 Análisis técnico-económico

En la presente sección se desarrolla la evaluación técnica-económica de las tres soluciones presentadas anteriormente para identificar el concepto de solución óptimo.

Para la asignación de los pesos relativos a los criterios se muestra la tabla 8, donde se define el significado de cada peso.

Tabla 8 Significado de los pesos relativos
Fuente: Elaboración propia

Valor (g)	Significado
0	Nada importante
1	Poco importante
2	Importante
3	Muy importante
4	Bastante importante

Asimismo, se establece una escala para la asignación de puntajes a cada concepto de solución en correspondencia a cada criterio. En la tabla 9 se muestra esta escala con su respectivo significado.

Tabla 9 Significado de los puntajes
Fuente: Elaboración propia

Valor (p)	Significado
0	No satisface
1	Aceptable a las justas
2	Suficiente o aceptable
3	Bien
4	Muy bien (solución ideal)

3.5.1 Evaluación técnica

A continuación, se definen los criterios que se consideran para la evaluación técnica.

- **Función principal:** Se evalúa al sistema en su integridad en el rol de control de velocidad y fuerza de inyección, así como el monitoreo de temperatura del zamak fundido y del molde.
- **Resistencia a las condiciones de operación:** resistencia mecánica y térmica de los componentes a las condiciones de operación.
- **Precisión:** se evalúa específicamente a los sensores cuando realiza la medición de ciertos parámetros como temperatura, presión, caudal o velocidad.
- **Velocidad de operación:** relacionado con la facilidad del sistema de operar a la velocidad requerida, así como la repetibilidad de los movimientos.
- **Mantenimiento:** relacionado con la vida útil de los componentes del sistema que permitan una mayor duración de operación ininterrumpida del sistema.
- **Información al usuario:** visibilidad adecuada de los parámetros de inyección para el operario y notificación adecuada de las alarmas considerando el ambiente en el cual opera la inyectora.

En la tabla 10 se presenta la evaluación técnica de las soluciones presentadas.

Tabla 10 Evaluación técnica
Fuente: Elaboración propia

Evaluación Técnica											
Variantes de Concepto/ Proyecto			Solución 1			Solución 2		Solución 3		Solución Ideal	
Nº	Criterios de evaluación técnica	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	pg	
1	Función principal	4	2	8	3	12	2	8	4	16	
2	Resistencia a las condiciones de operación	4	2	8	3	12	2	8	4	16	
3	Precisión	3	3	9	3	9	3	9	4	12	
4	Velocidad de operación	3	3	9	3	9	1	3	4	12	
5	Mantenimiento	2	2	4	3	6	3	6	4	8	
6	Información al usuario	2	3	6	3	6	2	4	4	8	
Puntaje máximo Σp ó Σgp		18	15	44	18	54	13	38	24	72	
Valor técnico Xi			0.61		0.75		0.53		1		
Orden			2		1		3				

Se puede observar en la tabla que la solución ganadora para la evaluación técnica es la solución dos. Se destaca de esta solución principalmente los criterios técnicos: función principal y la resistencia de los componentes a las condiciones de operación.

3.5.2 Evaluación económica

A continuación, se definen los criterios que se consideran para la evaluación económica.

- Costos de componentes: relacionado con los costos relativos de los componentes del sistema.
- Facilidad de adquisición de componentes: relacionado con la disponibilidad de los componentes en el mercado local o caso contrario, facilidad de adquirirlos mediante importación.

- Número de piezas: relacionado con la cantidad de componentes del sistema debido a que estos influyen en los costos de fabricación y de mantenimiento.
- Facilidad de mantenimiento: relacionado con la disponibilidad de personal capacitado para las labores de mantenimiento del sistema.

En la tabla 11 se presenta la evaluación económica de las soluciones presentadas.

Tabla 11 Evaluación económica
Fuente: Elaboración propia

Evaluación Económica											
Variantes de Concepto/ Proyecto			Solución 1			Solución 2		Solución 3		Solución Ideal	
N°	Criterios de evaluación económica	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	pg	
1	Costo de componentes	3	2	6	2	6	2	6	4	12	
2	Facilidad de adquisición de componentes	3	3	9	3	9	2	6	4	12	
3	Número de piezas	2	3	6	2	4	2	4	4	8	
4	Facilidad de mantenimiento	2	2	4	2	4	2	4	4	8	
Puntaje máximo Σp ó Σgp		10	10	25	9	23	8	20	16	28	
Valor económico Y_i			0.89			0.82		0.71		1	
Orden			1			2		3			

Se puede observar que la solución ganadora para la evaluación económica es la solución uno.

Se destaca de esta solución principalmente el criterio económico: número de piezas.

Finalmente, como resultado del análisis técnico – económico se muestra la figura 43, en la cual se observa las coordenadas que ocupa cada solución acorde al valor económico y al valor técnico obtenido.

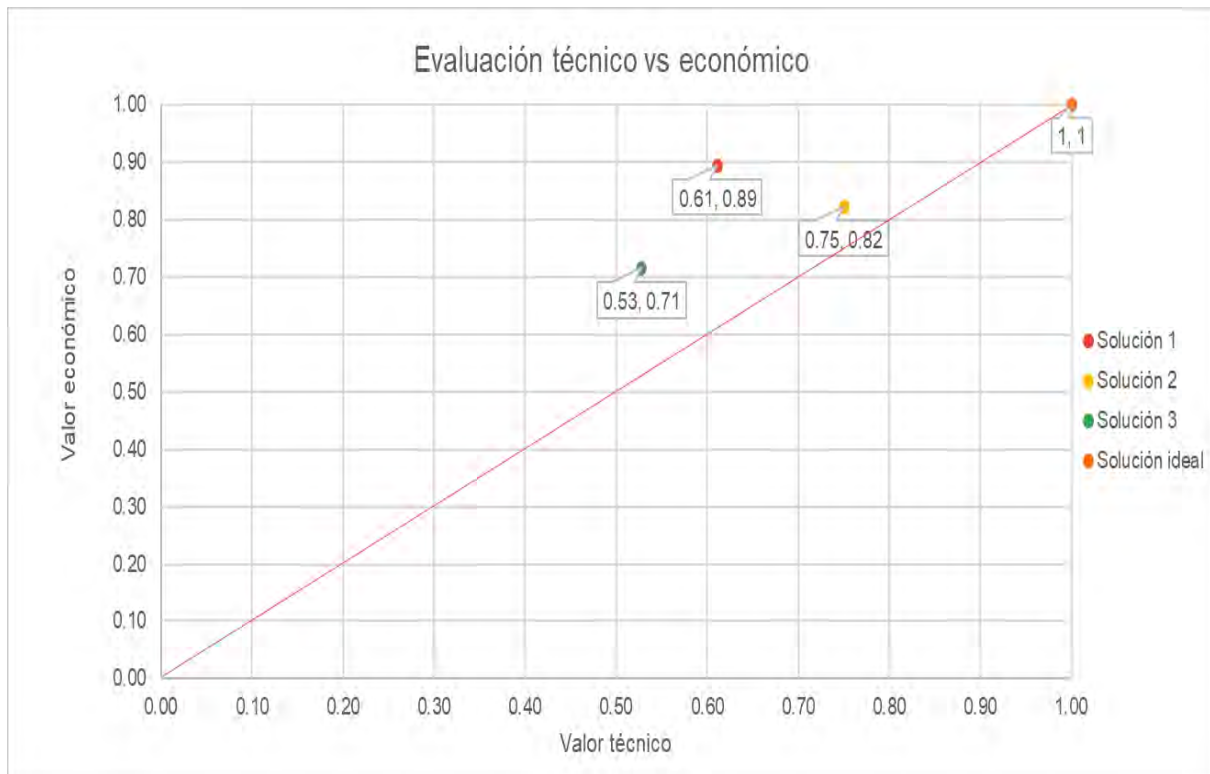


Figura 43 Diagrama de evaluación

Fuente: Elaboración propia

Analizando la figura podemos concluir que la alternativa dos es la solución ganadora por encontrarse más cercano a la línea de solución óptima (línea naranja).

Conclusiones

- Se determinó como concepto óptimo el segundo concepto de solución. Este concepto es el más adecuado en comparación con los otros dos conceptos de solución a partir de la evaluación de los factores técnicos y económicos, destacando principalmente el cumplimiento de la función principal y la facilidad de adquisición de componentes respectivamente.
- En el presente trabajo académico se han analizado las diferentes tecnologías relacionadas con la fundición inyectada tales como los tipos de fundición inyectada, sensores de temperatura, válvulas hidráulicas de presión, de caudal y direccionales, acumuladores hidráulicos, cilindros hidráulicos, sensores de presión, sensores de caudal y controladores. En correspondencia con esto, se puede afirmar que la tecnología necesaria para desarrollar el concepto óptimo de solución está disponible.
- En correspondencia a la propuesta de solución planteada y el concepto óptimo obtenido del sistema de inyección, la solución pasa por el empleo de tecnologías actuales y adecuadas al proceso, así como, el planteamiento de una estrategia de control que permita el correcto performance de la máquina mediante el monitoreo y control de los parámetros de inyección. Como resultado final, el concepto de solución óptimo permitirá reducir el número de fallas en las piezas inyectadas, para el caso particular, de zamak.
- Teniendo en consideración los parámetros de inyección mencionados en la problemática, si bien se expone explícitamente el control de velocidad y fuerza de inyección y el monitoreo de temperatura del molde y del zamak fundido se incluye

también en la lógica de control, los tiempos involucrados en el proceso de inyección, tales como el tiempo de inyección inicial y el tiempo de mantenimiento.

- Si bien el concepto óptimo de solución está orientada a la operación con zamak, esta se podría adaptar al trabajo con otros metales no ferrosos de bajo punto de fusión tales como aleaciones de cobre, magnesio y plomo.



Bibliografía

- ACEROS Y SISTEMAS HIDRAULICOS DE MEXICO. (27 de julio de 2015). *Cilindro De Doble Acción Utilizando Válvulas De Control De Flujo*. Obtenido de <http://www.ashm.mx/blog/cilindro-de-doble-accion-utilizando-valvulas-de-control-de-flujo/>
- ACEROS Y SISTEMAS HIDRAULICOS DE MEXICO. (20 de julio de 2015). *Cilindro De Simple Acción Utilizando Válvulas De Control De Flujo*. Obtenido de <http://www.ashm.mx/blog/cilindro-de-simple-accion-utilizando-valvulas-de-control-de-flujo/>
- ACEROS Y SISTEMAS HIDRAULICOS DE MEXICO. (3 de agosto de 2015). *Control De Velocidad Para Cilindros Hidráulicos*. Obtenido de <http://www.ashm.mx/blog/control-de-velocidad-para-cilindros-hidraulicos/>
- ACEROS Y SISTEMAS HIDRAULICOS DE MEXICO. (24 de abril de 2017). *Control de cilindros hidráulicos con válvula direccionales*. Obtenido de <http://www.ashm.mx/blog/control-de-cilindros-hidraulicos-con-valvula-direccionales/>
- Acumuladores*. (s.f.). Obtenido de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/publilppm/2014/Libros/11/Funda-Hidrau/18.pdf>
- Anónimo. (s.f.). Obtenido de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/publilppm/2014/Libros/11/Funda-Hidrau/18.pdf>
- Anónimo. (8 de enero de 2020). *Cilindro hidráulico*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Cilindro_hidráulico
- Anónimo. (s.f.). *Control del cilindro*. Obtenido de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/publilppm/2014/Libros/11/Funda-Hidrau/13.pdf>
- Anónimo. (s.f.). *Válvulas direccionales hidráulicas*. Obtenido de <https://www.hidranaven.com/pdf/direccionales.pdf>
- AUTOMANTENIMIENTO.NET. (s.f.). *Tipos de cilindros hidráulicos*. Obtenido de <https://automantenimiento.net/hidraulica/tipos-de-cilindros-hidraulicos/>
- Beltrán, M., & Marcilla, A. (s.f.). *Inyección*. Obtenido de <http://iq.ua.es/TPO/Tema5.pdf>
- BIRT LH. (s.f.). *Válvulas distribuidoras*. Obtenido de https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/PPFM/PSAFM/PSAFM02/es_PPFM_PSAFM02_Co ntenidos/website_21_vlvulas_distribuidoras.html
- DYNACAST. (2020). *FUNDICIÓN INYECTADA EN CÁMARA CALIENTE*. Obtenido de <https://www.dynacast.es/fundicion-inyectada-en-camara-caliente>
- DYNACAST. (2020). *FUNDICIÓN INYECTADA EN CÁMARA FRÍA*. Obtenido de <https://www.dynacast.es/fundicion-inyectada-en-camara-fria>
- FACULTA DE INGENIERIA - UBA. (s.f.). *Fundición en molde permanente*. Obtenido de <http://materias.fi.uba.ar/7204/teoricas/Fundicion%20en%20molde%20permanente.pdf>
- FECUSA INGS. (2015). *Acumuladores hidráulicos*. Obtenido de <http://www.fequesa.com/acumuladores.html>
- FERREYROS. (2001). Obtenido de <https://www.ceduc.cl/aula/lebu/materiales/IC/IC-410/MANUAL%20DEL%20ESTUDIANTE%20HIDRAULICO.pdf>
- Flores, E., & Orellana, R. (Septiembre de 2014). Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/6320/1/Diseño%20y%20construcción%20de%20un%20h orno%20de%20crisol%20para%20aleaciones%20no%20ferrosas.pdf>
- Garrido, P. (s.f.). *SENSORES DE TEMPERATURA*. Obtenido de EL ABC DE LA AUTOMATIZACION: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/sensores-de-temperatura.pdf>

- Gonzalez, M. (s.f.). *SENSORES DE TEMPERATURA*. Obtenido de Academia:
https://www.academia.edu/28852673/SENSORES_DE_TEMPERATURA_Industrial_es
- Hertz, F. (s.f.). *Capítulo 3: Elementos sensores y transductores de temperatura*. Obtenido de
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/627/5/A5.pdf>
- Horno de inducción*. (31 de agosto de 2019). Obtenido de
https://es.wikipedia.org/wiki/Horno_de_inducci3n
- Horno Eléctrico de Arco*. (s.f.). Obtenido de
<https://sites.google.com/site/hornoelectricodearco/>
- HYDAC. (s.f.). *Sensores de presión*. Obtenido de <https://www.hydac.com/de-es/productos/sensores/sensores-de-presion.html>
- hydraulic-calculation. (s.f.). *Cilindros hidráulicos*. Obtenido de <http://www.hydraulic-calculation.com/es/article.php?ID=16>
- Ieda Tecnología. (s.f.). *Distribución, regulación y control*. Obtenido de
https://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/20022013/ca/es-an_2013022013_9163854/ODE-56aa9b02-9b10-362f-918d-71a8d4025a81/32_distribucin_regulacin_y_control.html
- Ingemecánica. (s.f.). *Sistemas Hidráulicos de Transmisión de Potencia*. Obtenido de
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn212.html>
- Ingeniería Mecafenix. (16 de enero de 2018). *¿Qué es y para qué sirve un PLC?* Obtenido de
<https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/que-es-un-plc/>
- INSERTEC. (31 de agosto de 2016). *HORNO CUBILOTE*. Obtenido de
<https://www.insertec-store.es/blog/horno-cubilote/>
- Inter empresas. (28 de abril de 2020). *Guía para solucionar problemas más comunes en moldeo por inyección*. Obtenido de
<https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/5878-Guia-para-solucionar-los-problemas-mas-comunes-en-moldeo-por-inyeccion.html>
- LABORATORIO DE PRODUCCIÓN _ ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA. (2008). *Fundición*. Obtenido de
https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/9627_fundicion.pdf
- Llumiquinga, F. (s.f.). *Modernización de inyectora TRIULZI*. Obtenido de Repositorio Digital: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2431/1/CD-0120.pdf>
- Logicbus. (2019). *Sensores de temperatura*. Obtenido de
<https://www.logicbus.com.mx/sensores-temperatura.php>
- mecantech. (10 de abril de 2011). *AreaMecánica*. Obtenido de
<https://areamecanica.wordpress.com/2011/04/10/¿como-es-un-acumulador-hidraulico/>
- METAL ACTUAL. (s.f.). *Tres razones para la inversión tecnológica en la inyección de metales*. Obtenido de
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjn3dee367pAhUBTN8KHej_DEUQFjAAegQIAhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.ingenieriademetodos.com%2Fapp%2Fdownload%2F9154968269%2FTecnol%25C3%25B3gica%2Ben%2Bla%2Binyecci%25C3%25
- Metal Actual. (s.f.). *Trez razones para la inversión tecnologica en la inyección de metales*. Obtenido de
[file:///C:/Users/Juan/Downloads/Tecnológica%20en%20la%20inyección%20de%20metales%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Juan/Downloads/Tecnológica%20en%20la%20inyección%20de%20metales%20(2).pdf)
- Novedades en sistemas de control de temperatura en transformación de plástico*. (septiembre de 2005). Obtenido de Tecnología del plástico:
<http://www.plastico.com/temas/Novedades-en-sistemas-de-control-de-temperatura-en-transformacion-de-plastico+3042443?pagina=1>

- Pirómetro ¿Que es y como funciona?* (13 de marzo de 2018). Obtenido de Ingeniería Mecafenix: <https://www.ingmecafenix.com/medicion/pirometro/>
- PRIVARSA. (s.f.). *Control de Temperatura Feller MCS – 2 a 128 Zonas*. Obtenido de <https://www.privarsa.com.mx/producto/control-de-temperatura-feller-mcs-2-128-zonas/>
- ROEMHELD. (s.f.). *Cosas interesantes a conocer sobre cilindros hidráulicos*. Obtenido de https://www.roemheld-gruppe.de/fileadmin/user_upload/downloads/technische_informationen/Wissenswertes_Hydraulikzylinder_es_0212.pdf
- SOHIPREN S.A. (mayo de 2005). *MANUAL BASICO DE OLEOHIDRAULICA*. Obtenido de <http://sohipren.com/img/cms/docs/OB/LIVENZA-ManualBasicoOleohidraulica.pdf>
- SRC SISTEMAS DE REGULACIÓN Y CONTROL. (2019). *TIPOS DE SENSORES DE TEMPERATURA*. Obtenido de <https://srsl.com/tipos-sensores-temperatura/>
- Tecnoficio. (s.f.). *Instrumentación industrial*. Obtenido de http://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/instrumentacion_industrial11.php
- temperatura*. (s.f.). Obtenido de Automatizacion y Control: <https://sites.google.com/site/automatizacionycontrol2/instrumentacion/medicion-y-control/temperatura?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>
- TIPOS DE HORNOS INDUSTRIALES*. (9 de mayo de 2015). Obtenido de <http://adryeljaiek.blogspot.com/2015/05/hornos.html>
- Torres, S. (s.f.). *Sensores de flujo, principios de medición*. Obtenido de Asociación de la Industria Eléctrica - Electrónica en Chile: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/sensores-de-flujo.pdf>
- Valvulas direccionales hidraulicas*. (s.f.). Obtenido de <https://www.hidranaven.com/pdf/direccionales.pdf>
- WIKA. (2020). *Sensor de presión*. Obtenido de https://www.wika.es/landingpage_pressure_sensor_es_es.WIKA