

**CENTRO UNIVERSITARIO TECNOLÓGICO  
CEUTEC**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SENSOR DE PRESIÓN DE CAVIDAD PARA  
UN MOLDE DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO EN LA EMPRESA NOVEM,  
HONDURAS**

**SUSTENTADO POR:**

**MELVIN ALBERTO MATAMOROS ARGUETA, 31651263**

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE  
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA**

**TEGUCIGALPA, FRANCISCO MORAZÁN, HONDURAS, C.A.**

**DICIEMBRE 2021**

**CENTRO UNIVERSITARIO TECNOLÓGICO  
CEUTEC**

**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA**

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**RECTOR**

**MARLON ANTONIO BREVÉ REYES**

**SECRETARIO GENERAL**

**ROGER MARTÍNEZ MIRALDA**

**VICERRECTORA ACADÉMICA CEUTEC**

**DINA ELIZABETH VENTURA DÍAZ**

**DIRECTORA ACADÉMICA CEUTEC**

**IRIS GABRIELA GONZALES ORTEGA**

**TEGUCIGALPA, FRANCISCO MORAZÁN, HONDURAS, C.A.**

**DICIEMBRE 2021**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SENSOR DE PRESIÓN DE CAVIDAD PARA  
UN MOLDE DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO EN LA EMPRESA NOVEM,  
HONDURAS**

TRABAJO PRESENTADO EN EL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS  
EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA**

**ASESOR**

**ING. KARIO ALEXANDRO VILAFRANCA REYES**

**TERNA EVALUADORA**

**ING. MANUEL ALEJANDRO ELVIR OSORIO**

**ING. JOEL AARÓN FONSECA CERRATO**

**TEGUCIGALPA, FRANCISCO MORAZÁN, HONDURAS, C.A.**

**DICIEMBRE 2021**

**DEDICATORIA.**

Dedico el presente proyecto a mi amada esposa Ericka Espinoza, por ser la pareja idónea que siempre me brinda su apoyo incondicional en todo momento, por su paciencia y amor a lo largo de cada proyecto que decidimos emprender; de igual manera dedico este proyecto a mis tres hermosos hijos, Pamela, Daniel y Nahomi Matamoros Espinoza, por ser la fuerza que me impulsa a continuar y motivarme a ser una mejor persona cada día.

**Melvin Alberto Matamoros Argueta**

**AGRADECIMIENTOS.**

Agradezco a la empresa Novem Honduras por permitirme desarrollar dicha investigación y darme la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de mi carrera profesional. Al Centro Universitario Tecnológico CEUTEC y a todos los maestros que compartieron de su conocimiento y consejos; siendo parte fundamental en el desarrollo y éxito de la presente investigación, en especial a mi asesor de tesis, Ing. Kario Villafranca por su continuo apoyo y oportunos consejos.

**Melvin Alberto Matamoros Argueta**

## **IMPLEMENTACIÓN DE UN SENSOR DE PRESIÓN DE CAVIDAD PARA UN MOLDE DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO EN LA EMPRESA NOVEM, HONDURAS**

### **AUTOR:**

Melvin Alberto Matamoros Argueta

### **RESUMEN.**

La industria del moldeo por inyección es uno de los procesos industriales de manufactura más utilizados hoy en día, lo que convierte a este proceso en uno de los pilares de la manufactura moderna con grandes aportes económicos al sector comercial e industrial. En esta investigación se analizó todo el ecosistema que rodea a este importante proceso de transformación de plásticos; para posteriormente determinar la importancia de implementar un sensor de presión de cavidad, de tal manera que exista una interacción entre la máquina de inyección de plástico y el molde de inyección. Con la implementación de un sensor de presión de cavidad se contribuirá significativamente a la robustez del proceso de manufactura y disminución del indicador de piezas desechadas por problemas de llenado de cavidad en la empresa Novem Honduras, garantizando la calidad de las piezas inyectadas. Se determinó la importancia del uso de este tipo de sensor de presión de cavidad mediante instrumento de análisis estadístico, es decir una encuesta profesional que recopila las sugerencias de expertos en el tema de inyección de plásticos en la empresa Novem Honduras; los tres departamentos encuestados fueron el departamento de Mantenimiento Técnico, Ingeniería de Procesos y el departamento de Gestión de Proyectos.

**Palabras clave:** Proceso de moldeo por inyección, máquina de inyección de plástico, molde de inyección, sensor de presión de cavidad, llenado por presión de cavidad.

## **IMPLEMENTATION OF A CAVITY PRESSURE SENSOR FOR A PLASTIC INJECTION MOLD IN THE COMPANY NOVEM, HONDURAS**

### **AUTHOR:**

Melvin Alberto Matamoros Argueta

### **ABSTRACT.**

The injection molding industry is one of the most widely used industrial manufacturing processes today, which makes this process one of the pillars of modern manufacturing with great economic contributions to the commercial and industrial field. In this research, the entire ecosystem that surrounds this important plastics transformation process were analyzed; to later determine the importance of implementing a cavity pressure sensor, in such a way that there is an interaction between the plastic injection machine and the injection mold. With the implementation of a cavity pressure sensor, a significant contribution will be added to the robustness of the manufacturing process and a decrease in the indicator of discarded parts due to cavity filling problems at the Novem Honduras Company, guaranteeing the quality of the injected parts. The importance of using this type of cavity pressure sensor was determined by means of a statistical analysis instrument, that is, a professional survey that compiles the suggestions of experts in the field of plastic injection in the company Novem Honduras; the three departments surveyed were the Technical Maintenance Department, Process Engineering and the Project Management Department.

**Keywords:** Injection molding process, plastic injection machine, injection mold, cavity pressure sensor, filling by cavity pressure.

## TABLA DE CONTENIDO.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
2.1.    Antecedentes .....	2
2.2.    Enunciado / Definición del Problema .....	6
2.3.    Preguntas de Investigación .....	7
2.4.    Hipótesis y Variables de Investigación.....	7
2.5.    Justificación de la Investigación .....	9
CAPÍTULO III. OBJETIVOS.....	10
3.1.    Objetivo general.....	10
3.2.    Objetivos específicos .....	10
CAPÍTULO IV. MARCO TEÓRICO.....	11
4.1.    Sensores de presión en la industria .....	11
4.1.1.  Definición de sensor de presión .....	12
4.1.2.  Clasificación de los sensores de presión .....	13
4.1.3.  Beneficios de un sistema de medición de presión de cavidad .....	15
4.1.4.  El efecto piezoeléctrico .....	16
4.2.    Interfaz entre el sensor de presión y la máquina de inyección .....	19
4.2.1.  Adquisición de la señal analógica .....	19
4.2.2.  Medición de la presión de cavidad.....	20
4.2.3.  Amplificador de carga.....	21
4.2.4.  Ecuaciones del amplificador de carga.....	22
4.3.    Molde de inyección de plástico.....	23
4.3.1.  Definición de molde de inyección de plástico .....	24

4.3.2.	Tipos de molde de inyección de plástico .....	24
4.4.	Máquina de inyección de plástico.....	26
4.4.1.	Definición de una máquina de inyección de plástico.....	27
4.4.2.	Tipos de máquinas de inyección de plástico .....	27
4.4.3.	Parámetros de proceso.....	29
4.5.	Equipo periférico .....	32
4.5.1.	Termorregulador .....	32
4.5.2.	Enfriador de agua (chiller).....	33
4.5.3.	Deshumidificador de resina.....	34
CAPÍTULO V. METODOLOGÍA / PROCESO .....		37
5.1.	Enfoque y métodos .....	37
5.1.1.	Enfoque .....	37
5.1.2.	Método .....	38
5.1.3.	Enfoque cuantitativo .....	38
5.1.4.	Características y procesos del enfoque cuantitativo.....	39
5.1.5.	Método de investigación .....	39
5.1.6.	Alcance de la investigación.....	40
5.1.7.	Diseño de la investigación .....	40
5.1.8.	Esquema de la investigación .....	41
5.2.	Población y muestra .....	42
5.2.1.	Tipos de muestra .....	43
5.2.2.	Esquema población y muestra.....	43
5.3.	Unidad de análisis y respuesta .....	45
5.4.	Técnicas e instrumentos aplicados.....	45
5.4.1.	Instrumento de investigación .....	46

5.5.	Fuentes de información.....	46
5.5.1.	Fuentes primarias .....	46
5.5.2.	Fuentes secundarias.....	46
5.6.	Cronología de trabajo.....	47
CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		51
6.1.	Encuesta aplicada.....	51
6.1.1.	Análisis de los datos obtenidos .....	52
6.1.2.	Correlación entre las preguntas formuladas.....	65
CAPÍTULO VII. VIABILIDAD.....		68
7.1.	Viabilidad Operacional .....	68
7.2.	Viabilidad Económica.....	68
7.3.	Viabilidad de Mercado.....	69
CAPÍTULO VIII. APLICABILIDAD .....		71
8.1.	Análisis de Mercado .....	71
8.1.1.	Análisis de la Demanda.....	72
8.1.2.	Análisis de la Oferta.....	73
8.1.3.	Análisis de Precios .....	74
8.1.3.1.	Resumen de Precios .....	78
8.1.3.2.	Condiciones Contractuales.....	79
8.1.4.	Análisis de la Comercialización.....	80
8.2.	Estudio Técnico .....	81
8.2.1.1.	Sensor de presión de cavidad .....	81
8.2.1.2.	Amplificador de carga.....	83
8.2.1.3.	Calibrador – probador para el sensor de presión.....	85
8.2.1.4.	Instalación del sensor de presión de cavidad .....	89

8.2.1.5.	Habilitación en pantalla para uso del sensor de presión .....	91
8.2.2.	Análisis y determinación de la localización óptima del proyecto.....	93
8.2.3.	Análisis y determinación del tamaño óptimo del proyecto.....	95
8.2.3.1.	Dimensiones máquina de inyección.....	95
8.2.3.2.	Dimensiones molde de inyección.....	96
8.2.3.3.	Dimensiones interfaz de comunicación .....	97
8.2.3.4.	Dimensiones sensor de presión de cavidad.....	98
8.2.4.	Análisis de la disponibilidad y el costo de los suministros e insumos.....	100
8.2.5.	Identificación y descripción del proceso.....	101
8.2.6.	Determinación de la organización humana y jurídica que se requiere para la correcta operación del proyecto .....	102
8.2.6.1.	Organización humana.....	103
8.2.6.2.	Organización jurídica .....	104
8.2.6.3.	Resumen del estudio técnico.....	105
8.3.	Estudio Económico .....	105
8.3.1.	Costos de Producción y Operación .....	106
8.3.1.1.	Costos fijos.....	106
8.3.1.2.	Costos variables .....	107
8.3.1.3.	Costos de operación .....	108
8.3.2.	Inversión total inicial.....	109
8.3.3.	Punto de Equilibrio .....	110
8.3.3.1.	Flujo de caja .....	112
8.3.4.	TIR (Tasa Interna de Retorno).....	113
8.4.	Creación de Prototipo .....	114
8.4.1.	Prototipo de funcionamiento operacional .....	114

8.4.2. Prototipo funcionamiento electrónico .....	117
8.4.3. Prototipo de placa PCB .....	124
CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES .....	127
CAPÍTULO X. RECOMENDACIONES .....	129
CAPÍTULO XI. BIBLIOGRAFÍA.....	131
Bibliografía .....	131
CAPÍTULO XII. ANEXOS .....	135
Encuesta .....	135

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 4.1.1 Proyección de mercado sensores de presión al 2027 .....	12
Figura 4.1.2 Ejemplo del uso de sensores de presión según su tipo .....	14
Figura 4.1.3 Ejemplos de sensores de presión .....	15
Figura 4.1.4 Partes principales de un sensor de presión de cavidad .....	17
Figura 4.1.5 Datos técnicos típicos de un sensor de presión de cavidad .....	18
Figura 4.2.1 Esquema de la interfaz entre un sensor y una computadora.....	19
Figura 4.2.2 Amplificador de carga 5039A marca Kistler.....	20
Figura 4.2.3 Representación gráfica del llenado de cavidad sensor de presión.....	21
Figura 4.2.4 Cadena de medición de un amplificador de carga .....	22
Figura 4.3.1 Molde de inyección típico de 2 caras .....	23
Figura 4.3.2 Molde de inyección de dos placas .....	24
Figura 4.3.3 Molde de inyección separador .....	25
Figura 4.3.4 Molde de inyección deslizante.....	25
Figura 4.3.5 Molde inyección de tres placas.....	26
Figura 4.4.1 Proyección de mercado máquinas de inyección al 2026 .....	27
Figura 4.4.2 Máquina de moldeo por inyección .....	28
Figura 4.4.3 Partes principales de una máquina de inyección .....	29
Figura 4.5.1 Termorreguladores para moldes de inyección .....	33
Figura 4.5.2 Enfriador de agua para una máquina de inyección.....	34
Figura 4.5.3 Deshumidificador de resina marca MOTAN.....	35
Figura 4.5.4 Esquema de funcionamiento de un deshumidificador de resina.....	35
Figura 5.1.1 Características del enfoque cuantitativo .....	39
Figura 5.1.2 Procesos del enfoque cuantitativo .....	39
Figura 5.1.3 Esquema de la investigación.....	41
Figura 5.2.1 Esquema de población y muestra .....	44
Figura 5.4.1 Instrumento y técnicas de adquisición de datos.....	46
Figura 5.6.1 Diagrama de Gantt Proyecto de Investigación .....	50
Figura 6.1.1 Encabezado de la encuesta profesional aplicada .....	51
Figura 7.3.1 Análisis FODA como parte de la viabilidad de mercado .....	70

Figura 8.2.1 Sensor de presión de cavidad Unisens 6157.....	81
Figura 8.2.2 Características técnicas del sensor de presión 6157 .....	82
Figura 8.2.3 Amplificador de carga Kistler 5039 <sup>a</sup> .....	83
Figura 8.2.4 Diagrama esquemático del amplificador de carga.....	84
Figura 8.2.5 Datos técnicos del amplificador de carga .....	85
Figura 8.2.6 Probador de sensibilidad para sensores de presión.....	86
Figura 8.2.7 Pantalla principal de configuración del probador de sensor de presión .....	87
Figura 8.2.8 Resultado de las mediciones del sensor de presión .....	89
Figura 8.2.9 Montaje de sensor de presión de cavidad .....	89
Figura 8.2.10 Adaptador aislado de tierra.....	90
Figura 8.2.11 Sensor de presión de cavidad instalado .....	91
Figura 8.2.12 Criterios de llenado en pantalla de Inyectora .....	92
Figura 8.2.13 Gráfica en pantalla de presión de cavidad.....	93
Figura 8.2.14 Fotografía del área de Inyección.....	94
Figura 8.2.15 Layout área de Inyección.....	94
Figura 8.2.16 Dimensiones de una máquina de inyección.....	96
Figura 8.2.17 Dimensiones de un molde de inyección .....	97
Figura 8.2.18 Dimensiones del amplificador de carga.....	98
Figura 8.2.19 Dimensiones del sensor de presión.....	99
Figura 8.2.20 Diagrama de bloques del proceso de implementación .....	102
Figura 8.2.21 Organización humana implementación sensor de presión.....	103
Figura 8.4.1 Representación gráfica de la simulación operacional.....	115
Figura 8.4.2 Prototipo del amplificador de carga.....	118
Figura 8.4.3 Placa de sensibilidad de sensor de presión .....	119
Figura 8.4.4 Diagrama de entradas y salidas en la máquina de inyección.....	123
Figura 8.4.5 Prototipo de placa PCB.....	125
Figura 8.4.6 Serigrafía superior de placa prototipo.....	126
Figura 8.4.7 Distribución de puntos de soldadura placa protitipo .....	126

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 2.1.1 Costo por piezas incompletas o mal inyectadas primer semestre 2021 .....	4
Tabla 2.4.1 Variables y definiciones conceptuales y operacionales .....	8
Tabla 5.6.1 Cronología de trabajo.....	47
Tabla 8.1.1 Precio cotizado Sensor de Presión .....	75
Tabla 8.1.2 Precio cotizado Amplificador de Carga.....	76
Tabla 8.1.3 Precio cotizado Probador-Calibrador.....	77
Tabla 8.1.4 Precio cotizado Erosión Cavidad de Molde.....	77
Tabla 8.1.5 Tabla resumen de precios.....	78
Tabla 8.2.1 Porcentajes de error en la sensibilidad.....	88
Tabla 8.2.2 Dimensiones y pesos de una máquina de inyección .....	95
Tabla 8.2.3 Dimensiones y pesos de un molde de inyección.....	96
Tabla 8.2.4 Dimensiones y peso del amplificador de carga.....	97
Tabla 8.2.5 Dimensiones y peso del sensor de presión de cavidad.....	98
Tabla 8.2.6 Disponibilidad y costo de suministros e insumos .....	100
Tabla 8.3.1 Costos fijos.....	107
Tabla 8.3.2 Costos variables .....	107
Tabla 8.3.3 Costos de Operación .....	109
Tabla 8.3.4 Inversión inicial.....	110
Tabla 8.3.5 Resumen Costos Fijos y Variables .....	111
Tabla 8.3.6 Estimación de ahorro .....	111
Tabla 8.3.7 Punto de equilibrio.....	112
Tabla 8.3.8 Flujo de caja.....	112
Tabla 8.3.9 Cálculo de la TIR y VAN .....	113
Tabla 8.4.1 Tabla de equivalencias entre señal de carga, voltaje y presión.....	120
Tabla 8.4.2 Elementos incluidos en la placa prototipo .....	124

## ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Gráfico 2.1.1 Costos asociados a problemas de llenado de cavidad.....	5
Gráfico 2.2.1 Cantidad de máquinas de inyección por tonelaje.....	6
Gráfico 6.1.1 Años de experiencia de los participantes de la encuesta.....	52
Gráfico 6.1.2 Departamento al que pertenecen los encuestados.....	53
Gráfico 6.1.3 Medición del nivel de conocimiento acerca del problema.....	54
Gráfico 6.1.4 Eficiencia del sistema actual de llenado de cavidad.....	55
Gráfico 6.1.5 Mejor sistema de llenado de cavidad.....	56
Gráfico 6.1.6 Medición de la intención de inversión para la mejora.....	57
Gráfico 6.1.7 Tipo de sensor sugerido.....	58
Gráfico 6.1.8 Tipo de interfaz de comunicación.....	59
Gráfico 6.1.9 Porcentaje de mejora proyectado.....	60
Gráfico 6.1.10 Efectos de la implementación de un sensor de cavidad.....	61
Gráfico 6.1.11 Motivos por los que el sensor de presión no viene pre instalado.....	62
Gráfico 6.1.12 Factibilidad del proyecto en función de su retorno de inversión.....	63
Gráfico 6.1.13 Aporte del proyecto al alcance de indicadores.....	64
Gráfico 6.1.14 Correlación entre Departamento, Experiencia y Tipo Sensor.....	65
Gráfico 6.1.15 Correlación entre Sistema, Inversión y Factibilidad.....	66
Gráfico 6.1.16 Correlación entre expectativa de mejora, Departamento e Indicadores ...	67

## ÍNDICE DE ECUACIONES.

Ecuación 4.2.1 Ecuación salida de voltaje de un amplificador de carga ideal.....	22
Ecuación 4.2.2 Ecuación límite de baja frecuencia.....	23
Ecuación 4.2.3 Ecuación límite de alta frecuencia.....	23
Ecuación 5.2.1 Fórmula para el cálculo de la muestra.....	43
Ecuación 5.2.2 Cálculo de la muestra de la población.....	43
Ecuación 8.3.1 Formula del punto de equilibrio.....	111

## GLOSARIO.

**Amplificador de Carga:** En el campo de la tecnología de medición, un amplificador de carga es un convertidor de carga que convierte señales de carga muy baja, como se generan, por ejemplo, mediante sensores piezoeléctricos, en señales de voltaje proporcional (voltios).

**Barril de Inyección:** parte de la máquina de inyección encargada de plastificar el material polimérico a través de cintas calefactoras.

**Cavidad:** parte o partes de un molde de inyección de plástico que posee la forma deseada del producto a inyectar.

**Deshumidificador:** equipo periférico encargado de extraer la humedad del material polimérico mediante la recirculación de aire caliente.

**Higroscópico:** material polimérico con fuerte tendencia a absorber la humedad ambiente de forma natural.

**Hot Runner:** sistema calefactor dentro del molde de inyección encargado de mantener las propiedades de fluidez del material plástico.

**Interfaz:** dispositivo capaz de transformar las señales generadas por un aparato en señales comprensibles por otro.

**Máquina de Inyección:** una maquina inyectora de plástico es una máquina que por medio de un sistema de inyección funde el plástico y lo inyecta en un molde con una forma determinada.

**Molde de Inyección:** dispositivo que da forma al material plástico fundido y lo enfría hasta tomar su forma final como artículo terminado.

**Muestra:** una muestra es un subconjunto de casos o individuos de una población; en estadística siempre es requerida una muestra que sea representativa de la población de estudio.

**Parámetros de Proceso:** se les llama parámetros de procesos a la asignación de variables del proceso que son controlables y medibles.

**Piezolectricidad:** la piezolectricidad es un fenómeno presentado por determinados cristales que al ser sometidos a tensiones mecánicas adquieren una polarización eléctrica en su masa, apareciendo una diferencia de potencial y cargas eléctricas en su superficie.

**Población:** se conoce como población al conjunto de elementos que son objeto de un estudio estadístico.

**Polímero:** un polímero es una cadena de unidades de repetición o monómeros que se unen y repiten formando una macromolécula o polímero.

**Presión de Cavidad:** presión de la masa fundida dentro del molde de inyección durante el proceso de llenado de la cavidad.

**Presión de Sostenimiento:** presión que hace referencia a la presión de compactación del polímero una vez que la cavidad está llena.

**Secador de Resina:** equipo externo a la máquina de inyección encargado de extraer la humedad interior de la materia prima o polímero del tipo higroscópico.

**Sensor Piezoeléctrico:** un sensor piezoeléctrico es un dispositivo que utiliza el efecto piezoeléctrico para medir presión, aceleración, tensión o fuerza; transformando las lecturas en señales eléctricas.

**Sensor Piezoresistivo:** dispositivo que hace uso de cambios en la resistividad de ciertos materiales semiconductores cuando se somete a estrés mecánico.

**Sensor de Presión:** dispositivos que entregan una señal de pequeño nivel que varía con el valor de la presión presente en su puerto de lectura.

**Termoplástico:** material que se ablandará repetidamente cuando se calienta y se endurecerá cuando se enfríe.

**Termorregulador:** dispositivo encargado de calentar el fluido dentro de un molde de inyección con el fin de facilitar la fluidez del material polimérico.

**Unidad de Cierre:** parte de la máquina de inyección encargada de abrir y cerrar el molde de inyección, además de generar la fuerza de cierre requerida por el proceso.

**Unidad de Control:** parte de la máquina de inyección encargada de controlar toda la lógica programada, como por ejemplo entradas y salidas de la unidad de procesamiento.

**Unidad de Potencia:** parte de la máquina de inyección encargada de desarrollar toda la fuerza programada, como por ejemplo las bombas encargadas de desarrollar la presión hidráulica requerida.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Las máquinas de moldeo por inyección de plásticos representan un gran avance en la industria de la manufactura en general, en especial cuando se habla de producción en masa de partes y/o piezas de alta calidad y estabilidad dimensional, sobre todo en la fabricación de figuras asimétricas, en especial para la industrias farmacéutica y automotriz, donde las tolerancias dimensionales son muy bajas y con un alto estándar de repetibilidad entre un lote de producción y otro. Gran parte de esta calidad se debe no solamente a la selección de máquinas y polímeros adecuados para cada aplicación, sino también a los cada vez mejor diseñados moldes de inyección de plástico, mismos que son los encargados de recibir y transformar la masa plástica fundida en la forma de su cavidad. Gran parte de la repetibilidad de las partes moldeadas es atribuida a la capacidad que pueda tener el proceso de inyección en mantener la forma de la cavidad del molde de inyección; tradicionalmente la máquina de inyección bombea el plástico hacia el molde a través de una pequeña boquilla, donde el molde es llenado de forma volumétrica, es decir algunos centímetros cúbicos de material por segundo; sin embargo, este proceso de llenado volumétrico es susceptible a los cambios de temperatura y por lo tanto a la densidad del material polimérico, lo que se traduce en piezas mal inyectadas debido a la variación dimensional, en casos extremos podrían haber piezas incompletas o por el contrario sobre inyectadas; es principalmente por este motivo que la máquina de inyección no puede hacer todo el trabajo requerido por sí sola, requiere por tanto de equipo periférico como por ejemplo atemperadores, deshumidificadores y enfriadores que le ayuden a mantener las condiciones de proceso dentro de los valores aceptables o permitidos.

El uso de sensores de presión ha dado paso no solamente a la automatización de los procesos industriales en sí mismos, sino que también, han permitido que los procesos sean cada vez más robustos y confiables; de allí que se esté considerando el uso de un sensor de presión de cavidad para el aseguramiento de la repetibilidad en el proceso de llenado de cavidad como una alternativa viable al tradicional llenado volumétrico.

## **CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1. Antecedentes**

El proceso de moldeo por inyección de termoplásticos, es una rama de la manufactura industrial que permite la producción masiva de distintos elementos plásticos mayormente para la industria de empaques y alimenticia; en Honduras este proceso productivo no está muy desarrollado y esta mayormente focalizado en la producción de envases para bebidas y frascos para la industria cosmética; sin embargo, hay un grupo muy reducido de empresas en el país que ha llevado este proceso productivo al siguiente nivel, entre estas empresas se encuentra Novem Honduras; misma que desde el año 2009 implementó este proceso industrial dentro del flujo de su cadena productiva, trayendo desarrollo e inversión al país y la zona donde opera; ahora forma parte de un selecto grupo de proveedores para la industria automotriz como por ejemplo, General Motors, Mercedes Benz, Toyota y Tesla, entre otros; siendo una empresa pionera en el país en la fabricación o inyección de las así llamadas piezas o componentes de ingeniería para un mercado de clase mundial, llevando sus exportaciones mayormente a Estados Unidos de Norteamérica, México y Canadá; siendo una empresa referente para nuestro país y causa de orgullo para el sector industrial hondureño.

Por este motivo es importante contribuir al crecimiento y desarrollo de nuevas tecnologías mediante el mejoramiento continuo de los distintos procesos que conforman el engranaje productivo de la empresa Novem Honduras; por eso nace la necesidad de robustecer el proceso de inyección de termoplásticos con la finalidad de hacer más eficiente el mismo por medio de la reducción de los desechos, o piezas defectuosas por temas relativos al proceso de inyección, como por ejemplo las piezas incompletas por problemas de llenado de cavidad.

En el presente año 2021, la crisis económica mundial a causa de la pandemia, ha elevado de manera significativa el precio del petróleo, siendo este último, una de las materias primas más importantes para la producción del plástico, incrementando los costos de operación e impulsando a las empresas transformadoras de plástico a optimizar sus recursos de una forma cada vez más efectiva, tal como lo menciona Miguel Mauricio Zelaya, presidente de la Asociación de Fabricantes de Plásticos de Honduras, mejor conocida como AFAPLASH.

*“La pandemia ha originado un aumento significativo en el uso del plástico, tanto en hospitales como hogares, que más allá de pensar sobre su depósito final ha permitido garantizar la bioseguridad, empaque, transporte y distribución de productos alimenticios y medicamentos. Esta misma demanda generó un incremento en el precio de las resinas, que al compararse los valores de enero 2021 y los de agosto de 2020 se observa un incremento de 60% y 80%.” (AFAPLASH, 2021)*

Este súbito incremento de las materias primas, obliga a las empresas procesadoras de plástico en Honduras a ser cada vez más eficientes en el uso de los recursos con la finalidad de mantenerse competitivas en un mercado cada vez más globalizado; sin embargo, de acuerdo con el Informe de Comercio Exterior de Mercancías Generales publicado el recién pasado mes de enero del 2021 por el Banco Central de Honduras, la industria del plástico en el país aporta en concepto de exportaciones a la economía del país una parte significativa de dichos ingresos, siendo un rubro importante para la industria formal de Honduras.

*“En enero de 2021, las exportaciones de la actividad manufacturera acumularon un valor de US\$98.6 millones, denotando un incremento de US\$14.0 millones (16.5%) en comparación a lo presentado al inicio de 2020, derivado fundamentalmente del alza de US\$7.7 millones en las exportaciones de hierro y sus manufacturas a Guatemala y El Salvador; así como de plásticos y sus manufacturas por US\$2.1 millones, en especial a los EUA y Guatemala.” (Banco Central de Honduras, 2021)*

La implementación de un sensor de presión de cavidad en el molde de inyección en la empresa Novem Honduras reducirá la cantidad de piezas rechazadas por defectos de fabricación, como por ejemplo las piezas incompletas reflejadas en la tabla 2.1-1 donde claramente se puede observar una oportunidad de mejora debido a los resultados mostrados en el primer semestre del año 2021. Cabe mencionar que los costos descritos son atribuidos única y exclusivamente a problemas relativos al llenado de la cavidad del molde de inyección a consecuencia de variaciones causadas por el llenado volumétrico de cavidad del molde de inyección.

*Tabla 2.1.1 Costo por piezas incompletas o mal inyectadas primer semestre 2021*

<b>MES</b>	<b>DESECHOS</b>	<b>COSTO</b>
Enero	56	L 8,377.13
Febrero	93	L 20,807.50
Marzo	27	L 7,065.60
Abril	107	L 20,966.83
Mayo	653	L 191,483.25

(Fuente: Elaboración propia, 2021)

Tomando en consideración todos los elementos que anteceden a la presente investigación, se presenta como una iniciativa de mejora, la implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección en la empresa Novem Honduras; esto con la finalidad de garantizar la repetibilidad en el proceso de llenado de cavidad mediante el uso de técnicas electrónicas y la selección de la correcta aplicación, es posible robustecer el proceso de inyección de plástico, aumentando significativamente su productividad y con ello la reducción de costos operativos asociados a la mala calidad de la partes producidas. Por otro lado, es una buena oportunidad para actualizar el actual método de llenado y con ello apegarse a la tendencia internacional de automatizar cada vez más los procesos productivos mediante el uso de sensores inteligentes que juegan un rol muy importante en la prevención del riesgo asociado a errores atribuidos a la variación de los indicadores claves del proceso productivo.

*“La tecnología moderna de moldeo por inyección se enfrenta a requisitos cada vez más exigentes y un número creciente de inyecciones complejas desafían el proceso de moldeo. Equipar adecuadamente estos sistemas de alto rendimiento, basados en la medición de la presión en la cavidad del molde, las máquinas de moldeo por inyección pueden producir piezas impecables de alta calidad. Estos sistemas pueden normalmente monitorear, optimizar automáticamente y controlar los procesos de moldeo por inyección, impulsando la productividad y reduciendo costos.”* (Plastics. 100% Quality Injection Molding, 2021)

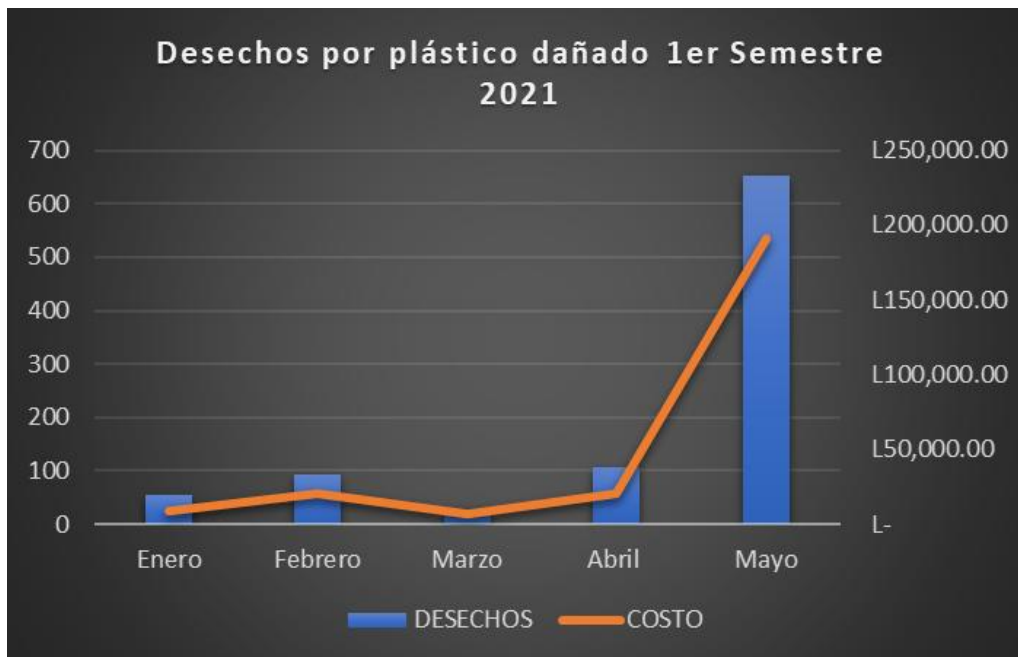


Gráfico 2.1.1 Costos asociados a problemas de llenado de cavidad

## 2.2. Enunciado / Definición del Problema

Debido a la alta demanda de piezas decorativas de madera en el mercado automotriz internacional y la continua mejora requerida en los procesos de manufactura, la empresa Novem Honduras, al igual que muchas empresas de clase mundial que han optado por la automatización de sus procesos críticos, aumentando con ello su productividad y eficiencia en el manejo de los recursos disponibles.

A causa de que la empresa Novem Honduras tiene proyectado iniciar dos nuevos proyectos para el primer semestre del año 2022 y estos nuevos proyectos incluyen dentro de su flujo de proceso el moldeo de piezas por medio de inyección de plásticos, se plantea la iniciativa de implementar un sensor de presión de cavidad que sea capaz de robustecer dicho proceso y con ello disminuir el rechazo de piezas por problemas relativos al llenado de cavidad primeramente con una sola maquina nivel de prototipo y posteriormente llevarlo al resto del equipo en planta.

Tal como lo muestra el gráfico 2.2-1 la cantidad de máquinas de inyección de medio y alto tonelaje (máquinas de 500 toneladas o superior) representan un alto impacto en el desempeño de la producción, debido a que las piezas producidas en ellas son de gran tamaño; representando un potencial de ahorro significativo debido al costo de cada pieza.

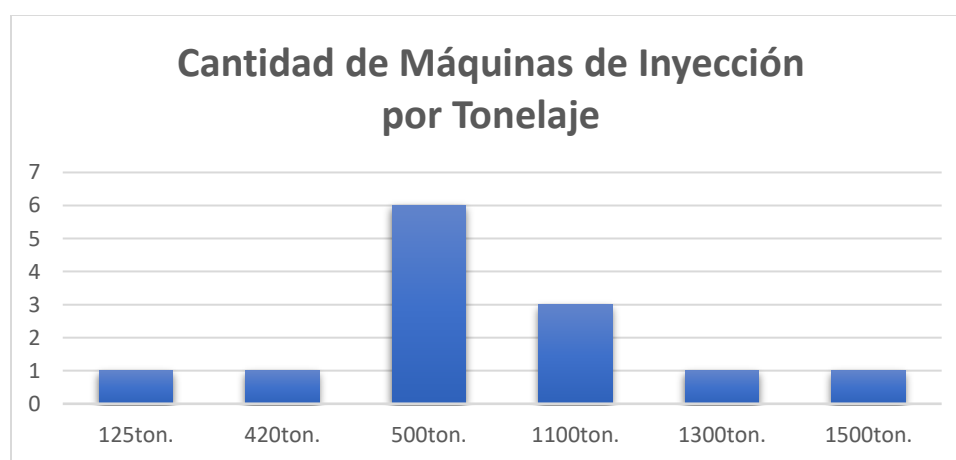


Gráfico 2.2.1 Cantidad de máquinas de inyección por tonelaje

La propuesta de implementar un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección que permita producir piezas de forma más repetitiva, solventará el problema de altos costos de producción debido a la reducción de piezas defectuosas; esto debido a que la cavidad del

molde será llenada en base a la presión interna generada por el plástico y no solamente por su llenado volumétrico, lo cual compensa el cambio de densidad en el polímero debido a los pequeños cambios de temperatura.

### 2.3. Preguntas de Investigación

1. ¿Cuál será el porcentaje aproximado de mejora por la implementación de un sensor de presión de cavidad en el molde de inyección de plástico?
2. ¿Qué tan repetitivo o robusto será el proceso de llenado de cavidad mediante la implementación de un sensor de presión de cavidad en un molde de inyección de plástico?
3. ¿Qué tipo de sensor de presión de cavidad es el más indicado para implementar en la empresa Novem Honduras?

### 2.4. Hipótesis y Variables de Investigación

Para efectos de la presente investigación, la cual tiene en su mayoría características del alcance descriptivo, se toma a bien el plantear hipótesis; ya que se está pronosticando un hecho o un dato, en el caso de la presente investigación se pronostica una reducción de piezas defectuosas debido a problemas de llenado de cavidad en el molde de inyección de plásticos.

1. **H<sub>1</sub>**: “Al hacer uso de un sensor de presión de cavidad en el molde de inyección de plástico, el porcentaje de piezas rechazadas por problemas de llenado se reducirá en un 80%.”
2. **H<sub>2</sub>**: “El proceso de llenado de cavidad, será más repetitivo si se hace en base a la presión de cavidad.”
3. **H<sub>3</sub>**: “Un sensor de presión piezoeléctrico, es el más indicado para colocar en el molde de inyección de plástico.”

Tabla 2.4.1 Variables y definiciones conceptuales y operacionales

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional
X1. Sensor de presión de cavidad	Dispositivo capaz de medir la presión generada dentro de la cavidad de un molde de inyección (Fernández Galeano, 2018)	Presión real mostrada en pantalla de la máquina de inyección.
Y1. Piezas rechazadas por problemas de llenado	Se dice de las piezas que no cumplen con las especificaciones del producto (Goodship, 2004)	Reporte de piezas rechazadas (de la empresa) con respecto a piezas incompletas o mal inyectadas.
X2. Llenado de cavidad	Proceso mediante el cual se introduce material plastificado dentro de la cavidad de un molde de inyección (Kistler Group, 2021)	Volumen de material inyectado que muestra en pantalla la máquina de inyección.
Y2. Presión de cavidad	Presión interior de la cavidad del molde de inyección (Apisolution, 2021)	Presión real de cavidad mostrada en pantalla de la máquina de inyección.
X3. Sensor de presión piezoeléctrico	Dispositivo que utiliza el efecto piezoeléctrico para medir presión, aceleración, tensión o fuerza; transformando las lecturas en señales eléctricas (Karki, 2000)	Selección del método de llenado mediante parámetro en la pantalla de la máquina de inyección.

---

Y3. Molde de inyección de plástico	Es el encargado de dar la forma geométrica requerida de la pieza(s) inyectada que luego se convierte en el producto final (Apisolution, 2021)	Inspección visual (observación)
------------------------------------	---	---------------------------------

---

## 2.5. Justificación de la Investigación

El diseño de un sensor de presión de cavidad para uso en los moldes de inyección, no solamente traerá una mejora en la calidad y estabilidad dimensional del producto final, sino que traerá junto con ello la reducción de costos no planificados debido a piezas defectuosas en el proceso.

La creciente competitividad a nivel económico de todas las industrias de manufactura obliga en alguna medida a la empresa Novem Honduras a reducir sus niveles de piezas rechazadas, con el fin de ser más competitiva en un mundo cada vez más globalizado; lo cual justifica el tema de investigación que vendrá a hacer más eficiente un proceso productivo sensitivo para la calidad del producto final.

Toda mejora de control al proceso productivo y su respectivo fortalecimiento desde el punto de vista estadístico, viene a robustecer dicho proceso y con ello aumentar la demanda de actuales y potenciales clientes en la adquisición de productos cada vez más confiables; por lo que una justificación lo suficientemente válida para esta investigación, es la garantía de poder cumplir con estándares previamente establecidos mediante las distintas normas de control de la calidad a las que Novem Honduras está suscrita, como por ejemplo la norma IATF 16949, que es una norma exclusiva que rige los procesos productivos en la industria automotriz.

## **CAPÍTULO III. OBJETIVOS**

### **3.1. Objetivo general**

Optimizar el método de llenado de molde de inyección de plástico por volumen de material, por un método de llenado inteligente mediante la implementación de un sensor de presión dentro de la cavidad y su respectiva interfaz de comunicación con la máquina de inyección que permita determinar con mayor precisión el llenado real de la cavidad del molde y reducir así en un 80% las piezas incompletas en el proceso de inyección de plástico en la empresa Novem Honduras.

### **3.2. Objetivos específicos**

1. Estimar el porcentaje de mejora aportado al proceso por medio de la implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección en la empresa Novem Honduras.
2. Determinar si el sensor de presión de cavidad contribuirá al robustecimiento del proceso de inyección de plástico en la empresa Novem Honduras, haciéndolo más repetitivo en el largo plazo.
3. Seleccionar el tipo de sensor de presión de cavidad que se debe implementar en Novem Honduras.

## CAPÍTULO IV. MARCO TEÓRICO

### 4.1. Sensores de presión en la industria

En los últimos años, la industria en todas sus distintas áreas de aplicación ha estado haciendo un uso cada vez más frecuente de los sensores de presión con la finalidad de llegar a controlar esta importante variable física; lo que permite que los estudios acerca de este tipo de sensores sean cada vez más frecuentes y con ello su continuo desarrollo y personalización en función de la aplicación deseada. Todo lo anterior desemboca en una fuerte tendencia de la industria hacia el uso de este tipo de sensores.

De acuerdo con (AVNET ABACUS, 2021) *“el mercado mundial de sensores de presión valía \$13.6 billones de dólares americanos en el 2020 y se estima que valdrá \$20.8 billones de dólares americanos para el 2025. Esto es representa un 52% de crecimiento en apenas cinco años a una tasa de crecimiento anual del 8.9%.”* (p.3)

Un buen ejemplo del potencial de crecimiento en cuanto al uso de los sensores de presión se muestra a continuación en la figura 4.1.1 donde se puede apreciar como de acuerdo a (Forencis Research, 2021), la industria de sensores de presión está en constante crecimiento, cual la hace una industria muy deseable para estudio y desarrollo de nuevas tecnologías de fabricación e implementación con un potencial de ventas de hasta 25.7 billones de dólares estadounidenses proyectados para el año 2027.



Figura 4.1.1 Proyección de mercado sensores de presión al 2027

Esto sin mencionar que los sensores de presión están siendo cada vez más miniaturizados e incursionando fuertemente en el mundo digital, lo cual ha incrementado su demanda y con ello la reducción de costos de fabricación, sobre todo en las industrias de manufactura, automotriz, médica, aeroespacial, automatización y sobre todo en la industria de inyección de plásticos, donde es muy común encontrar sensores que monitorean la presión hidráulica del cierre de la máquina, la presión de inyección de plástico y en los últimos años la tendencia de colocar sensores de presión de cavidad dentro de los moldes de inyección.

#### 4.1.1. Definición de sensor de presión

La definición de sensor de presión en su manera más general, podría definirse como la capacidad de un dispositivo de detectar la magnitud de presión y posteriormente transformarla en una magnitud eléctrica, sin embargo, para dar una mejor definición, es necesario contextualizar los siguientes términos, (HBM, 2021) lo define de la siguiente manera:

- Definición de presión como magnitud de medida:** Magnitud que se define como la derivada de la fuerza con respecto al área. Cuando la fuerza que se aplica es normal y uniformemente distribuida sobre una superficie, la magnitud de presión se obtiene dividiendo la fuerza aplicada sobre el área correspondiente. Normalmente se mide en unidades de fuerza por unidad de superficie. Las unidades

que se utilizan habitualmente son el pascal (Pa), el bar (bar), el N/mm<sup>2</sup> o la psi (libras por pulgada cuadrada).

- **Definición de un sensor:** Un sensor es un dispositivo que mide una magnitud física y la transforma en una señal. Esa magnitud puede ser, por ejemplo, temperatura, longitud, fuerza o, naturalmente, presión. En la mayoría de los casos la señal es eléctrica, aunque también puede ser óptica.
- **Definición de un sensor de presión:** En consecuencia, un sensor de presión es un instrumento compuesto por un elemento detector de presión con el que se determina la presión real aplicada al sensor (utilizando distintos principios de funcionamiento) y otros componentes que convierten esta información en una señal de salida.

Los anteriores conceptos nos ayudan a tener una mejor comprensión del significado más apropiado de un sensor de presión en el contexto de lo que la presente investigación pretende alcanzar.

#### 4.1.2. Clasificación de los sensores de presión

Inicialmente los sensores de presión se pueden clasificar según el tipo de presión que miden (Figura 4.1.2), las cuales pueden ser:

- Presión absoluta
- Presión manométrica
- Presión diferencial
- Presión de vacío

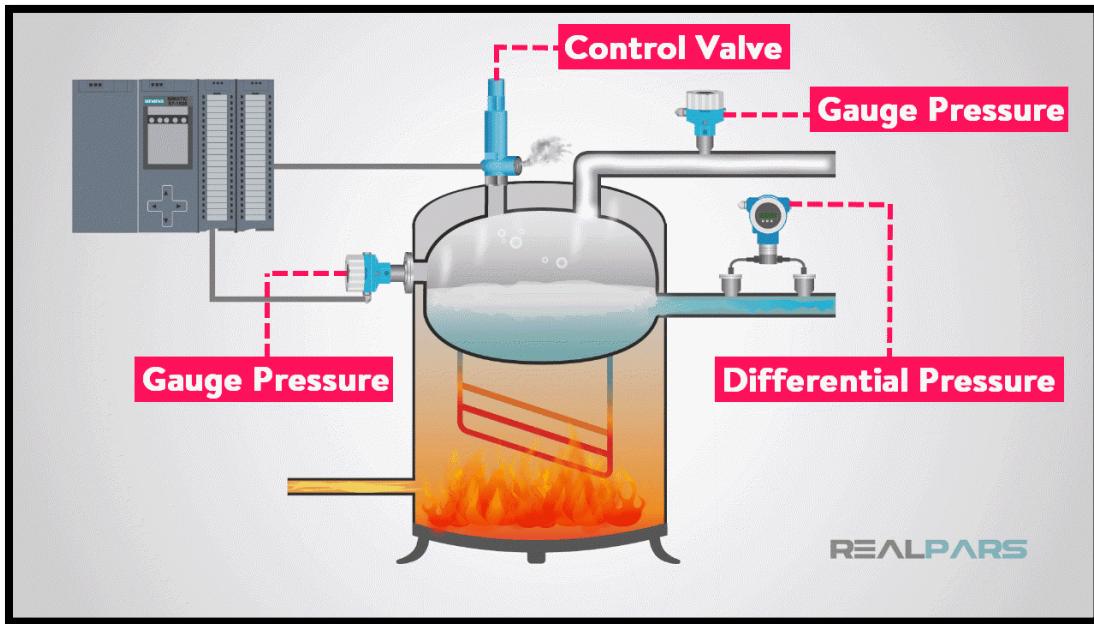


Figura 4.1.2 Ejemplo del uso de sensores de presión según su tipo

Una vez clasificado el tipo de presión a ser medido por el sensor de presión, se puede proceder a clasificar el tipo de sensor según su construcción interna y principio de funcionamiento (Figura 4.1.3), por lo cual se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Sensor de presión piezoresistivo
- Sensor de presión piezoeléctrico
- Sensor de presión capacitivo
- Sensor de presión electromagnético
- Sensor de presión óptico
- Sensor de presión potencio métrica



Figura 4.1.3 Ejemplos de sensores de presión

Es también de importancia mencionar para efectos de esta investigación que la unidad de medida estándar en el sistema internacional para la presión son los Pascales, pero es también muy común encontrar esta magnitud expresada en libras por pulgada cuadrada (PSI) o bar de presión.

#### 4.1.3. Beneficios de un sistema de medición de presión de cavidad

Hoy en día la industria del moldeo por inyección enfrenta requerimientos cada vez más exigentes, lo que ha obligado a la industria del plástico a modernizar sus sistemas de manufactura con dispositivos cada vez más “inteligentes”, este es el caso de los sensores de presión de cavidad de molde; esto con la intención de monitorear y controlar el proceso de inyección de una manera más eficiente con un enfoque basado no solamente en los parámetros de proceso, si no también basado en el punto de vista del plástico, es decir, tomar en cuenta los factores físicos que afectan al polímero durante el proceso de transformación.

Como lo menciona (Plastics. 100% Quality Injection Molding, 2021) *“La medición de la presión de la cavidad del molde y de los sistemas que utilizan la presión de la cavidad del molde para el monitoreo y control de los procesos de moldeo por inyección, ofrecen una gama de beneficios técnicos y económicos como los siguientes:*

- *Reducción de la cuota de rechazos*

- *Optimización del tiempo de ciclo*
- *Reducción del tiempo de ajuste de máquina*
- *Reducción del desperdicio de material*
- *Reducción de los costos por personal humano*
- *Menores costos de energía*
- *Protección activa contra el deterioro del molde.”*

El proceso relativo al molde de inyección es crucial para el buen desempeño del proceso y la buena calidad del producto final, todo ello en función de disminuir el riesgo asociado a los cambios físicos del material mediante el uso de sensores que ayuden a garantizar el correcto monitoreo del proceso y ayuden tomar decisiones rápidas al sistema de la máquina de inyección.

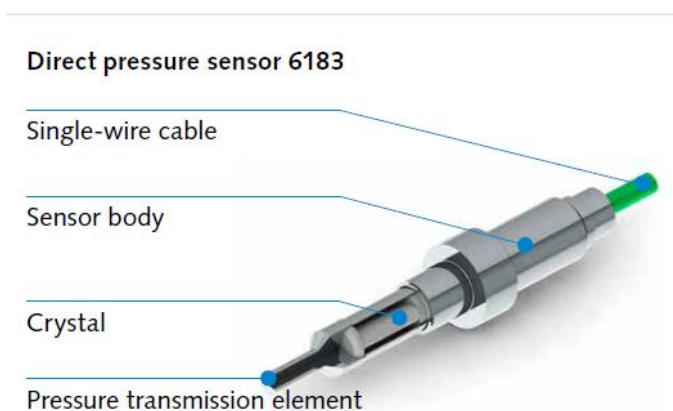
#### **4.1.4. El efecto piezoeléctrico**

El efecto piezoeléctrico no es en realidad un concepto nuevo, data desde los años 1800 y su estudio ha continuado a lo largo de los años; tal como lo menciona Castellanos en el artículo de una revista titulada “Evaluación Preliminar del Uso del Efecto Piezoeléctrico para Generación de Energía” el cual afirma que:

La piezoelectricidad fue descubierta por Jacques y Pierre Curie en el año de 1880, y se refiere al fenómeno en el cual se genera electricidad en ciertos materiales que son sometidos a un esfuerzo mecánico. Los hermanos Curie observaron que en determinadas caras de ciertos cristales aparecían cargas eléctricas si sobre las mismas se ejercían presiones o tracciones, a este fenómeno se le llamó efecto piezoeléctrico. La cuantía de las cargas acumuladas en las caras del cristal depende en una relación directa del grado de presión o de tracción que se ejerza. Se vio además que, si la presión movilizaba las cargas positivas, una tracción interior cambiaba el signo de las cargas en las caras del cristal. Esto se observó en muchos cristales como el cuarzo, la turmalina, la blenda, el ácido tartárico, el azúcar de caña, la sal de Rochelle y en otros cristales, todos ellos

con una propiedad común: ninguno poseía centro de simetría, aunque sí su eje. No obstante, los descubrimientos acerca de esta propiedad de los materiales, la investigación no terminó ahí: el efecto piezoeléctrico es reversible. Esta reversibilidad fue descubierta por Lippmann basándose en consideraciones teóricas, pero fueron los hermanos Curie quienes dieron la demostración práctica. El efecto piezoeléctrico inverso consiste en la deformación mecánica que sufre un cristal piezoeléctrico al que se le aplica un campo eléctrico (Castellanos, 2021)

Para el caso de la industria de moldeo por inyección, una vez que la masa plástica fundida entra en contacto con la cavidad del molde de inyección y hace contacto con el sensor de presión, la presión ejercida por el plástico a medida que va llenando la cavidad del molde, crea una pequeña deformación en el cristal que está dentro del sensor y este a su vez muestra un comportamiento casi lineal entre esta presión y la carga generada por dicho cristal dentro del sensor de presión de cavidad mostrado en la figura 4.1.4



*Figura 4.1.4 Partes principales de un sensor de presión de cavidad*

Dicho de otra manera, la deformación del cristal genera una carga eléctrica que posteriormente es convertida en un voltaje proporcional por medio de un amplificador de carga, el cual funciona como una interfase entre el sensor de presión de cavidad dentro del molde de inyección y la máquina de inyección, este amplificador de carga se describe ampliamente en el apartado 4.2 de la presente investigación.

En la figura 4.1.5 se pueden observar los datos técnicos comúnmente dados por el fabricante para un sensor de presión de cavidad, cortesía de Kistler.

Technical data – PE sensors <sup>1)</sup>

Type 601CA...

Output signal	pC	Charge (PE)	Temp. coefficient of sensitivity		
Pressure range	bar	0 ... 250	25°C ... 100°C	%/°C	≈+0.009
	psi	0 ... 3 626	77°F ... 212°F	%/°F	≈+0.005
Calibrated partial range	%	2; 20; 100	25°C ... 350°C	%/°C	≈+0.014
Overload	bar	300	77°F ... 662°F	%/°F	≈+0.008
	psi	4 350	25°C ... -196°C	%/°C	≈-0.035
Sensitivity (nom.)	pC/bar	-37.0	77°F ... -321°F	%/°F	≈-0.019
	pC/psi	-2.6	Acceleration sensitivity (axial) (typ.)	bar/g	0.0020
Linearity (typ.)	%FSO	≤±0.1		psi/g	0.0290
	%FSO	≤±0.3	Acceleration sensitivity (radial) (typ.)	bar/g	0.0001
Operating temperature range	°C	-196 ... +350		psi/g	0.0015
	°F	-321 ... +662	Insulation resistance	Ω	≥10 <sup>13</sup>
Rise time (10 ... 90%)	μs	<1.4	Weight Type 601CAA / 601CAB	gram	4.5/1.9
Natural frequency <sup>2)</sup>	kHz	>215	Housing and diaphragm material	17-4 S.S.	
Noise (1 Hz ... 10 kHz) (typ.)	μbar <sub>rms</sub>	15			

Figura 4.1.5 Datos técnicos típicos de un sensor de presión de cavidad

Dada la gran variedad de posibles aplicaciones para los sensores de presión de cavidad; los fabricantes de dichos sensores diseñan los mismos con un amplio rango de trabajo, sobre todo a nivel de temperaturas de trabajo, frecuencias y por supuesto en un amplio rango de presión de trabajo.

Debido a que los sensores de presión piezoeléctricos entregan una señal de carga, es de mencionar que su sensibilidad está dada como pico Coulomb por unidad de presión (por ejemplo, pC/bar o pC/psi) siendo esta señal de carga negativa para posteriormente ser convertida a una señal positiva de voltaje mediante el amplificador de carga.

## 4.2. Interfaz entre el sensor de presión y la máquina de inyección

### 4.2.1. Adquisición de la señal analógica

Los sensores son los encargados de medir las distintas magnitudes físicas, para efectos de la presente investigación, estas magnitudes físicas se encuentran en el mundo analógico y las computadoras industriales integradas dentro de las máquinas se encuentran dentro del mundo digital. Por tal razón es muy importante contar con un dispositivo que sea capaz de servir de puente de comunicación entre la salida del sensor y la entrada de la máquina.

A este tipo de dispositivos se les conoce con el nombre de interfaz de comunicación, en el caso de las interfaces entre sensores de presión y las distintas máquinas donde debe ser utilizado; este dispositivo tiene como propósito la conversión de señales analógicas de una forma proporcional a través de rangos conmutables; siendo los rangos más comunes en unidades de voltaje y corriente, como por ejemplo los siguientes:

- 4 – 20 mA
- 0 – 10 V
- Salidas de Relé
- CAN
- Ethernet
- Otras...

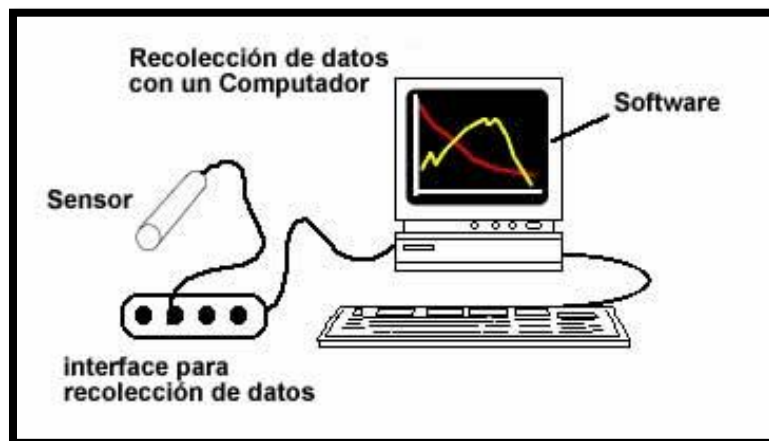


Figura 4.2.1 Esquema de la interfaz entre un sensor y una computadora

La interfaz estará siempre ligada al tipo de sensor de presión que tenga como entrada, para el caso de la industria de las máquinas de inyección, es muy común que estos sensores sean piezoeléctricos y por lo tanto su interfaz de comunicación con la maquinas sea a través de un amplificador de carga, como el que se muestra en la figura 4.2.2; ya que este tipo de amplificadores se ajusta de mejor manera a la aplicación requerida.

(Kistler Group, 2021) afirma que por ejemplo el amplificador de carga en miniatura Tipo 5039A, convierte las señales de carga eléctrica producidas por sensores piezoeléctricos en voltajes proporcionales. El instrumento está integrado en una robusta carcasa metálica según grado de protección IP-65 y concebido para uso industrial.



Figura 4.2.2 Amplificador de carga 5039A marca Kistler

#### 4.2.2. Medición de la presión de cavidad

Durante el proceso de llenado de cavidad del molde de inyección, un sensor de presión instalado en este molde aporta valiosa información con respecto a qué es lo que está pasando allí dentro, es decir, es como “tener ojos dentro de la cavidad del molde”

Tal como lo menciona (Plastics. 100% Quality Injection Molding, 2021) y puede apreciarse de manera gráfica en el figura 4.2.3, durante el inicio de la fase de inyección (1...2), la masa fundida de plástico avanza y hace contacto con el sensor de presión de cavidad (2...3) hasta que la cavidad ha completado su llenado volumétrico deseado antes de hacer el cambio de presión de inyección a presión de compactación (3), luego de esto comienza el proceso de compactación del polímero dentro de la cavidad del molde de inyección durante un tiempo determinado hasta que la pieza se encuentre totalmente compactada (4) de esta manera la solidificación del material

polimérico continua (5) hasta que la parte moldeada esta lista para ser expulsada sin sufrir una mayor contracción volumétrica producto del abrupto cambio de temperatura (6).

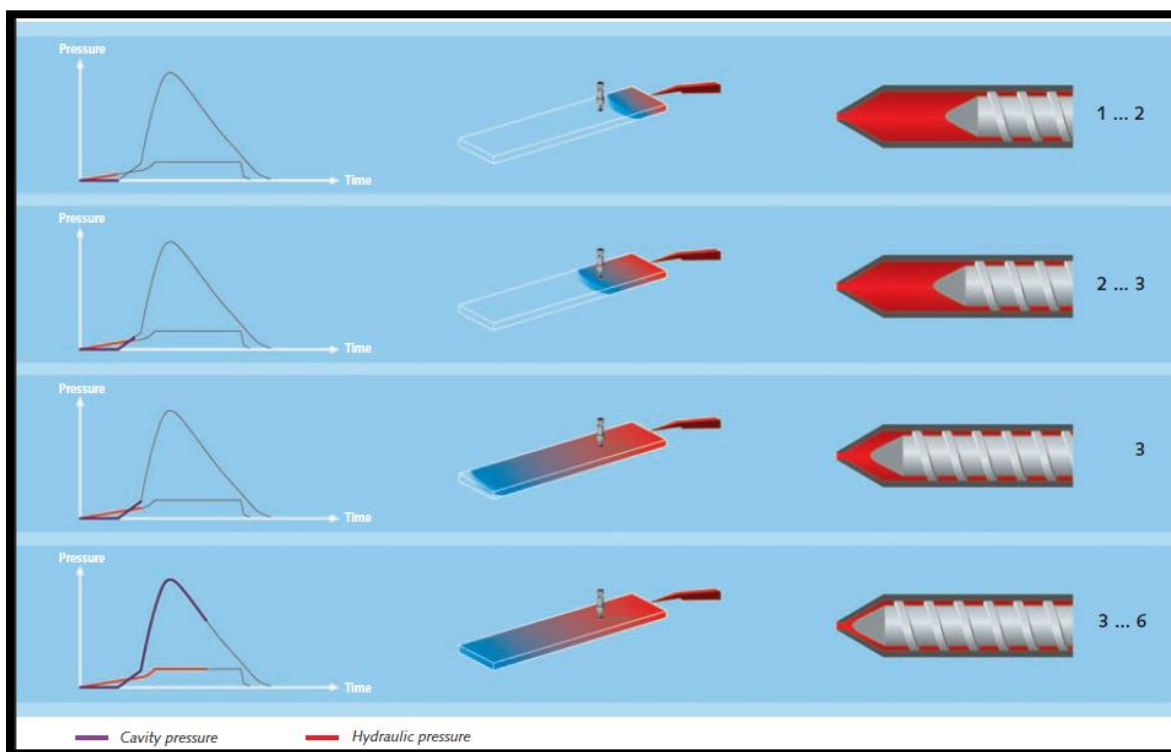


Figura 4.2.3 Representación gráfica del llenado de cavidad sensor de presión

El sensor de presión de cavidad, ayuda a dar mejor estabilidad entre ciclos de trabajo, por lo que su uso es deseable si se busca un proceso productivo robusto ante los cambios externos, como por ejemplo la variación en la viscosidad del plástico.

### 4.2.3. Amplificador de carga

Un amplificador de carga es básicamente un amplificador de voltaje invertido de alta ganancia con una resistencia de aislamiento de entrada muy alta configurada como integrador. Tal como lo muestra la figura 4.2.4 donde se puede observar el modelo de un amplificador de carga.

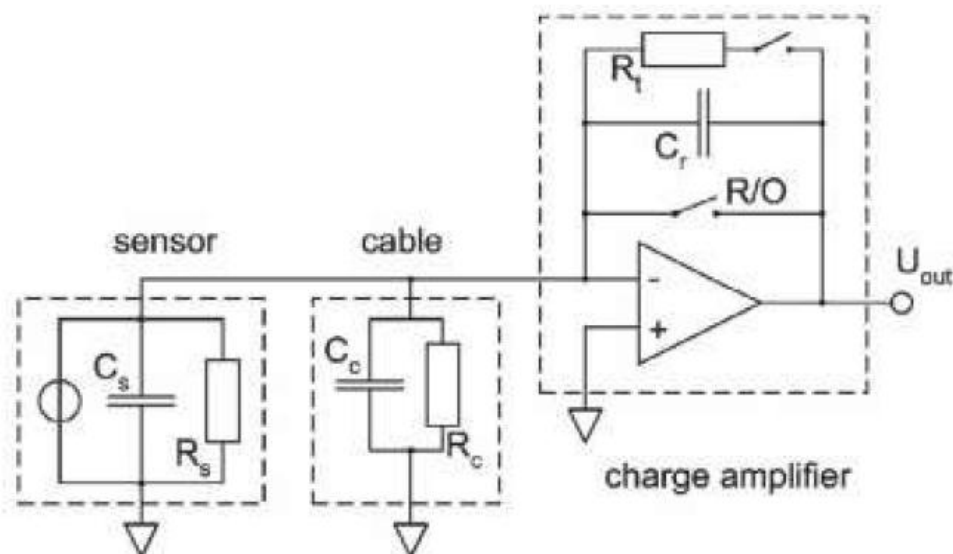


Figura 4.2.4 Cadena de medición de un amplificador de carga

De acuerdo con (Sciencedirect, 2021) el sensor se modela como una fuente de corriente (fuente de carga) en paralelo con la capacitancia  $C_s$  del sensor y resistencia  $R_s$ . Las propiedades del cable se describen mediante una capacitancia  $C_c$  y una resistencia de aislamiento  $R_c$ . El amplificador de carga consiste en un amplificador de alta ganancia con un condensador de rango  $C_r$ , una resistencia constante de tiempo  $R_t$  y un conmutador de restablecimiento/funcionamiento (R/O).

#### 4.2.4. Ecuaciones del amplificador de carga

El voltaje de salida del amplificador de carga ideal (ganancia  $A$  de bucle abierto infinito, sin corriente de fuga, sin voltaje de compensación en la entrada) depende solo de la carga inducida y del condensador de rango, donde la impedancia de entrada no tiene influencia (Sciencedirect, 2021)

**Señal de salida:**

$$V_{\text{out}} = \frac{-Q}{C_r} \quad (4.2.1)$$

*Ecuación 4.2.1 Ecuación salida de voltaje de un amplificador de carga ideal*

**Límite de baja frecuencia (-3dB):**

$$f_L = \frac{1}{(2\pi \cdot Rt \cdot Cr)} \quad (4.2.2)$$

*Ecuación 4.2.2 Ecuación límite de baja frecuencia*

**Límite de alta frecuencia:**

$$f_H = 2 - 500kHz \quad (4.2.3)$$

*Ecuación 4.2.3 Ecuación límite de alta frecuencia*

Cuando se opera a frecuencias superiores a 100kHz, la impedancia de entrada no puede ser despreciada, ya que a ganancia de bucle abierto depende de la frecuencia.

### 4.3. Molde de inyección de plástico

El molde de inyección representa uno de los elementos más importantes dentro del proceso de manufactura por medio del moldeo por inyección de plástico, es el molde de inyección el encargado de dar la forma geométrica requerida de la piezas o piezas que representan el producto final, un molde de inyección típico consta de dos placas, tal como se muestra en la figura 4.3.1.



*Figura 4.3.1 Molde de inyección típico de 2 caras*

### 4.3.1. Definición de molde de inyección de plástico

Un molde de inyección de plástico se puede definir como el encargado de recibir el polímero plastificado por una máquina de inyección de plástico, con el fin de enfriarlo y dar la forma dimensional requerida a la pieza moldeada según diseño o requerimiento del cliente.

### 4.3.2. Tipos de molde de inyección de plástico

Existen varios tipos de moldes de inyección, clasificados según su tipo de construcción, según (Goodship, 2004) estos se describen a continuación:

**Molde de inyección de dos placas:** Este es el diseño de molde más simple. Las cavidades del molde forman la pieza mediante la placa fija molde. Se puede colocar un punto de inyección central en la cara fija del molde y tener un sistema de canal frío o caliente directo a múltiples cavidades. La mitad móvil del molde contiene el mecanismo de expulsión. Esto se ilustra en la Figura 4.3.2

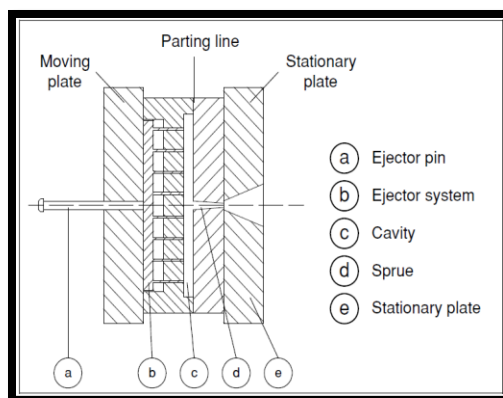


Figura 4.3.2 Molde de inyección de dos placas

**Molde separador:** Un molde separador es muy similar al molde estándar de dos placas, excepto por el sistema de expulsión. Este diseño tiene una placa de extracción para la expulsión, mediante el uso de pasadores o manguitos como expulsores. Esto se ilustra en la Figura 4.3.3. La ventaja de una placa de extracción es que el área de superficie aumenta para una mejor expulsión.

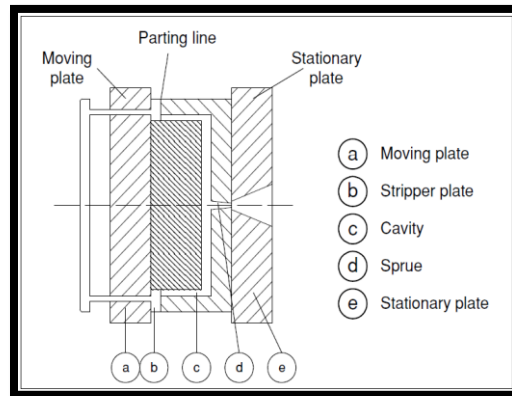


Figura 4.3.3 Molde de inyección separador

**Molde deslizante:** Al igual que los dos diseños anteriores, este también es un molde de dos placas. Sin embargo, tiene bujes y pines de leva para un movimiento lateral adicional como se muestra en la Figura 4.3.4. Este tipo de diseño es adecuado para producir piezas con cortes o roscas externas.

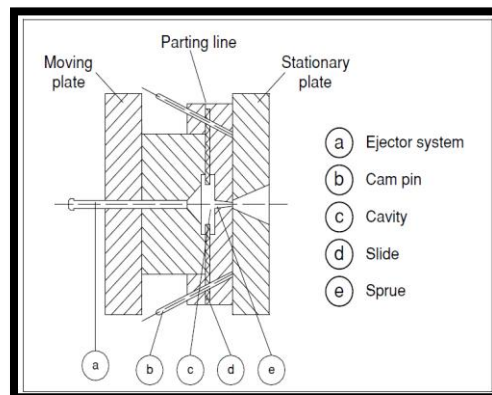


Figura 4.3.4 Molde de inyección deslizando

**Molde de tres placas:** Estos se utilizan normalmente cuando se trata de cavidades múltiples y se requiere un trabajo semiautomático o completamente automático.

Este tipo de molde, como su nombre indica, tiene una placa extra (ver Figura 4.3.5). Esta placa por lo general continúa con el canal caliente para llegar hasta las cavidades,

ticamente la forma es trapezoidal. El lado opuesto de la placa lleva parte de la forma de cavidad del molde, generalmente la parte hembra (p.47 - p.49).

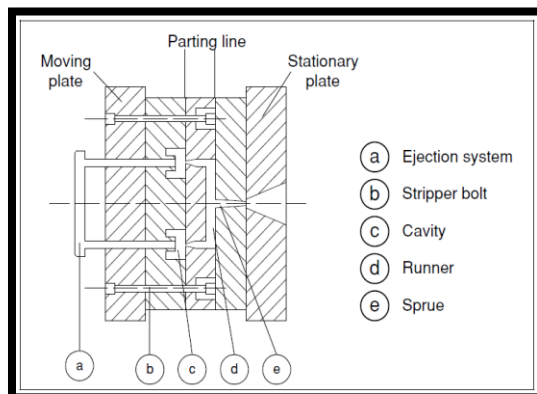
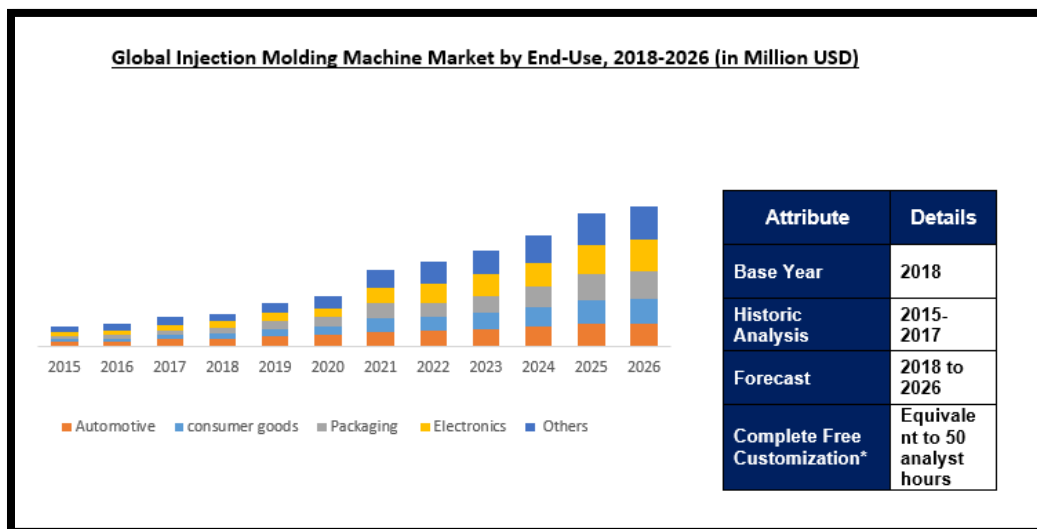


Figura 4.3.5 Molde inyección de tres placas

Es importante conocer el tipo de molde a trabajar sobre todo porque es de vital importancia conocer su funcionamiento y lograr determinar de forma efectiva el tipo de molde que mejor se ajusta a los requerimientos de fabricación de la pieza que se producir.

#### 4.4. Máquina de inyección de plástico

El proceso de inyección de plástico no podría llevarse a cabo sin la ayuda de su principal elemento, es decir, la máquina de inyección. Las primeras máquinas de inyección vieron sus inicios en 1872, cuando la primera máquina de inyección fue inventada por John Hyatt, siendo Alemania el país quien más creyó en el proyecto y dispuso de recursos para el desarrollo de la creciente industria que para el 2018 generó casi \$20 billones de dólares americanos y proyecta llegar a \$38 billones de dólares americanos para el año 2026 tal y como lo muestra la figura 4.4.1. lo cual muestra un desarrollo considerable para esta prometedora industria de manufactura.



*Figura 4.4.1 Proyección de mercado máquinas de inyección al 2026*

#### 4.4.1. Definición de una máquina de inyección de plástico

Una máquina de inyección se puede definir como un equipo capaz de plastificar el material polimérico y bombearlo a través de una boquilla hacia el molde de inyección, donde luego se solidificarse, mantendrá la forma de la cavidad deseada.

#### 4.4.2. Tipos de máquinas de inyección de plástico

Aunque originalmente las máquinas de inyección estaban mayormente construidas de elementos mecánicos accionados mediante la hidráulica y la neumática, con el pasar de los años se ha desarrollado; en los últimos años es común ver máquinas de inyección que en principio mantienen su base de funcionamiento, pero que han integrado a este principio la electrónica, microelectrónica, robótica, herramientas CAE, instrumentación, entre otras ramas importantes de la ingeniería moderna.

De acuerdo con (Goodship, 2004) las máquinas de inyección se pueden clasificar en dos grandes grupos:

1. Máquinas horizontales
2. Maquinas verticales
3. Máquinas mixtas (horizontales y verticales)

Siendo las maquinas horizontales y mistas las de uso más común (p.40)



*Figura 4.4.2 Máquina de moldeo por inyección*

Sin importar su tipo, una máquina de inyección esta normalmente compuesta por cuatro principales unidades, tal como se muestra en la figura 4.4.3 y que detallamos a continuación:

### **1) Unidad de Inyección**

- a) Boquilla
- b) Barril de inyección
- c) Cintas calefactoras
- d) Alimentador de resina

### **2) Unidad de Cierre**

- a) Placa porta molde fija
- b) Placa porta molde móvil
- c) Columnas
- d) Molde de inyección

### **3) Unidad de control**

- a) Pantalla de control y monitoreo
- b) CPU o computador central

#### 4) Unidad de Potencia

- a) Motor eléctrico
- b) Bombas hidráulicas

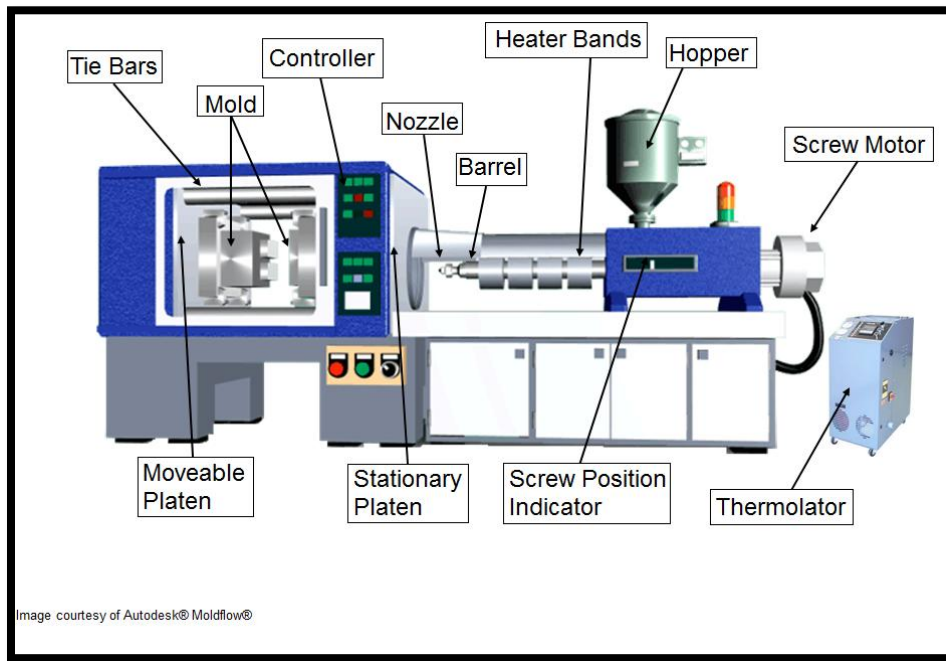


Figura 4.4.3 Partes principales de una máquina de inyección

Una máquina de inyección posee un principio de funcionamiento muy básico, sin embargo, es un equipo muy avanzado en cuanto a la tecnología empleada para su fabricación, lo cual la hace de uno de los grandes avances de la ingeniería moderna.

#### 4.4.3. Parámetros de proceso

Los parámetros de proceso de una máquina de inyección son muy variados, entre los más importantes para el proceso de inyección y para una buena calidad de las piezas inyectadas podemos mencionar los siguientes parámetros:

**Presión de inyección:** hace referencia a la presión que ejerce el pistón de inyección sobre la masa fundida al momento de la inyección, es común ver esta presión bares, tanto en términos

de la presión hidráulica, como de la presión específica, es decir la presión que experimenta el plástico.

**Conmutación a segunda presión:** la conmutación a segunda presión, es el punto de cambio entre la presión de inyección y la presión de empaque, este cambio de presión tiene puede tener tres criterios, conmutación en base al volumen de inyección (centímetros cúbicos), conmutación en base al tiempo de inyección (segundos) y conmutación en base a la presión de cavidad (bar).

**Presión de empaque:** se conoce como presión de empaque a la segunda presión de inyección, es decir, una vez que la cavidad está llena, comienza una segunda presión encargada de compactar el material polimérico, esto con la finalidad de contrarrestar la contracción debido al cambio de densidad; este valor se da en bares y normalmente hace referencia a la presión específica.

**Tiempo de empaque:** el tiempo de empaque es el tiempo que dura la presión de empaque, normalmente se suele expresar en segundos y dura el tiempo necesario hasta que la pieza está totalmente compactada.

**Tiempo de enfriamiento:** el tiempo de enfriamiento es el tiempo de reposos de la pieza dentro del molde de inyección una vez que el tiempo de empaque ha finalizado, se suele expresar segundos.

**Velocidad de inyección:** es la velocidad a la que se inyecta el plástico dentro de la cavidad del molde, es muy común ver este valor en centímetros cúbicos por segundo (ccm/s).

**Temperatura del barril de inyección:** esta es la temperatura a la cual se funde el polímero justo antes de ser inyectado en la cavidad del molde de inyección, esta temperatura viene dada en varias zonas calefacción, cuya intención es ir calentando el material polimérico en un perfil que va en aumento hasta alcanzar la temperatura final de proceso; su valor puede ser parametrizado tanto en grados Celsius (°C) como en grados Fahrenheit (°F).

**Temperatura del molde de inyección:** hace referencia a la temperatura del molde, es decir a la temperatura del acero; esta temperatura del acero es necesaria para facilitar la fluidez del plástico durante el proceso de llenado de la cavidad; su valor puede ser parametrizado tanto en grados Celsius (°C) como en grados Fahrenheit (°F).

**Temperatura del canal caliente:** se conoce también como temperatura del “Hot Runner” y se refiere a la temperatura interna del molde de inyección, es decir, la temperatura de los canales

por donde el plástico fluye desde la boquilla de la máquina de inyección hasta la cavidad misma del molde; su valor puede ser parametrizado tanto en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) como en grados Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ).

**Contrapresión:** es la presión que se opone al retroceso del husillo o tornillo de inyección, esta contrapresión es necesaria para evitar que la recámara del barril se llene de aire al momento de cargar material para el siguiente ciclo de inyección; su valor se da en bares.

**Volumen de dosificación:** este es el volumen o cantidad total de plástico programado a ser inyectado; su valor se expresa en centímetros cúbico (ccm) por sus siglas en inglés.

**Fuerza de cierre del molde:** es la fuerza que se ejerce sobre el molde de inyección para mantenerlo cerrado durante el proceso de inyección, se expresa tanto kilo Newton (kN) como en toneladas de fuerza (ton).

**Velocidad de cierre del molde:** es la velocidad con la que cierra el molde de inyección antes de recibir el material plástico, este cierre se da en perfiles donde el cierre comienza con alta velocidad y luego disminuye la misma hasta que las dos caras del molde hacen contacto físico; la velocidad de cierre se suele expresar en milímetros por segundo (mm/s).

**Velocidad de apertura de molde:** es la velocidad con la que abre el molde de inyección después que el material plástico está solidificado y listo para ser expulsado, esta apertura de molde se da en perfiles donde la apertura comienza con baja velocidad y luego aumenta la misma hasta que alcanza la posición de apertura programada; la velocidad de apertura se suele expresar en milímetros por segundo (mm/s).

**Fuerza de expulsión de botadores:** una vez que la pieza está solidificada y la apertura de molde alcanza su punto programado, se extrae la pieza del molde de inyección mediante botadores o expulsores que ayudan a separar la pieza ya inyectada de la cavidad del molde de inyección.

## 4.5. Equipo periférico

A pesar de ser un equipo de alta gama que hoy en día cuenta con mucha tecnología integrada, la máquina de inyección necesita de algunos equipos periféricos para poder trabajar de manera eficiente y con la mejor calidad posible; es por esta razón que la máquina de moldeo por inyección cuenta con tres principales equipos que la complementan con el fin de tener un proceso robusto.

- El termorregulador
- El enfriador de agua (chiller)
- El deshumidificador de resina

### 4.5.1. Termorregulador

El termorregulador, como su nombre lo indica, tiene como propósito controlar la temperatura del agua que circula a través del molde de inyección, normalmente la temperatura del molde dependerá en gran medida del tipo de material con que la máquina de inyección esté trabajando; por ejemplo, para un polipropileno, el molde podría requerir estar a 25°C, mientras que para un Policarbonato se requerirá una temperatura de hasta 80°C.

De acuerdo a (Regloplas, 2021) La calidad de las piezas moldeadas por inyección depende esencialmente de lo bien que se controlan las condiciones térmicas de la máquina. Estos incluyen el equilibrio térmico del molde de inyección, así como la temperatura del cilindro y el tornillo. El control de temperatura del molde cumple dos tareas:

- Calentar el molde hasta la temperatura de funcionamiento
- Mantener el molde a temperatura de funcionamiento



*Figura 4.5.1 Termorreguladores para moldes de inyección*

Es de esperar que al ser el molde quien recibe la masa fundida de plástico a temperaturas que superan los  $250^{\circ}\text{C}$ , el acero del molde absorba la temperatura por disipación, por lo cual es necesario también que este exceso de calor sea retirado del metal del molde mediante el principio de transferencia de calor, es decir a través de fluido que recorre los canales internos del molde para cumplir dicho propósito. El control de la temperatura del molde de inyección se vuelve muy importante debido a la correlación que existe entre estabilidad de dicha temperatura y la estabilidad del proceso mismo; esto se debe a que la densidad del material polimérico es altamente sensible a los cambios de temperatura y por consiguiente su comportamiento al momento del llenado de cavidad.

#### **4.5.2. Enfriador de agua (chiller)**

El enfriador de agua o conocido más popularmente como chiller, es el encargado de mantener dentro de rango de trabajo la temperatura del aceite hidráulico de la máquina de inyección. Es mediante un intercambiador de calor ubicado en la máquina de inyección, que se lleva a cabo dicho intercambio de calor, es decir, que el líquido enfriado extrae el calor generado por el trabajo hidráulico de la máquina de inyección, manteniendo una temperatura estable que evita la fluctuación de viscosidad del aceite por cambios en su densidad y por consiguiente un mal funcionamiento la máquina de inyección, donde a causa de esto podrían ocasionarse fugas de aceite no deseadas.



*Figura 4.5.2 Enfriador de agua para una máquina de inyección*

A pesar de que el enfriador de agua trabaja en circuito cerrado, es muy importante que llevar un estricto control del agua, ya los sólidos dentro del sistema del chiller podría llegar a representar un problema para el intercambiador de calor de la máquina de inyección debido a las incrustaciones, por lo que un mantenimiento de la calidad del agua es sumamente recomendable, sobre todo en aquellas áreas donde el suministro de agua no cuenta con sistemas de potabilización y es extraída de un pozo por ejemplo.

#### **4.5.3. Deshumidificador de resina**

El deshumidificador de resina, también conocido como secador, es el encargado de extraer la humedad de aquellos materiales higroscópicos que absorben humedad del ambiente, en la figura 3.3.6 se puede observar un deshumidificador de resina típico en el proceso de inyección de plástico.



Figura 4.5.3 Deshumidificador de resina marca MOTAN

El principio de operación del deshumidificador de resina se puede deducir por medio de la figura 4.5.4 donde el deshumidificador hace circular aire caliente a través del tanque de almacenamiento del material, calentando la materia prima y haciendo salir hacia el ambiente la humedad interna del material plástico.

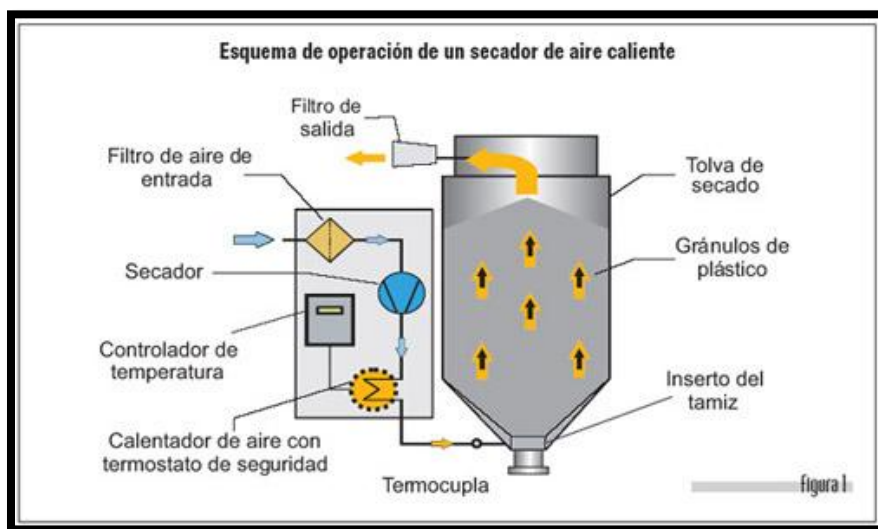


Figura 4.5.4 Esquema de funcionamiento de un deshumidificador de resina

Si la materia prima no se seca de manera correcta, es posible que la humedad atrapada pueda ocasionar el deterioro de las propiedades químicas de la resina plástica al momento de ser procesada; afectando de manera directa la calidad de las partes producidas.

Como todo proceso productivo, la calidad no puede atribuirse únicamente a un par de parámetros, pues es el control de toda la cadena productiva la que define la estabilidad y robustez del proceso de manufactura; por esta razón es muy importante comenzar controlando el inicio mismo del proceso por medio de la materia prima, el porcentaje de humedad del plástico previo al ingreso a la máquina de inyección es vital si se quiere mantener una densidad estable durante el proceso de transformación del polímero hasta lograr el producto final inyectado. Un porcentaje de humedad de al menos 0.02% de la materia prima es deseado antes de comenzar con el proceso mismo de inyección; ya que esto evita el exceso de humedad en el material dentro de la unidad de inyección, lo que sería contraproducente ya que se generarían gases dentro de la misma.

## **CAPÍTULO V. METODOLOGÍA / PROCESO**

En la sección de metodología y proceso de la presente investigación se pretende dar a conocer de la manera mejor detallada posible tanto el enfoque, método, alcance, diseño, población, tipo de muestra, la unidad de análisis y respuesta; así como de igual forma se busca mostrar la técnica y el instrumento a utilizar con el fin de medir las variables de investigación. Como toda metodología valida, se sustentarán las fuentes de información que ayuden y aporten validez a la presente investigación y sobre todo al alcance de los objetivos de investigación.

Como parte fundamental de una investigación con el rigor académico esperado y no menos importante, será el poder detallar la cronología de trabajo realizado mediante el detalle de las actividades realizadas durante el tiempo que duro la investigación acerca de la implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección de plástico.

### **5.1. Enfoque y métodos**

#### **5.1.1. Enfoque**

De acuerdo a (Ruiz Medina, 2021) El enfoque de la investigación es un proceso sistemático, disciplinado y controlado y está directamente relacionada a los métodos de investigación que son dos: método inductivo generalmente asociado con la investigación cualitativa que consiste en ir de los casos particulares a la generalización; mientras que el método deductivo, es asociado habitualmente con la investigación cuantitativa cuya característica es ir de lo general a lo particular. El propósito del siguiente tema es el de explicar los diferentes enfoques que se utilizan en una investigación científica y que representan la clave y guía para determinar resultados congruentes, claros, objetivos y significativos.

Dada la definición misma de un enfoque cuantitativo, es oportuno el decir que el presente trabajo de investigación se apega de manera fiel a este tipo de método; todo lo anterior basados en el hecho, de que esta investigación cuenta no solamente con un sólido contexto basado en un marco teórico, sino que en la misma se plantean hipótesis de investigación y la finalidad del presente

trabajo es claramente responder de ,ara satisfactoria a cada una de estas hipótesis, así como responder de una forma sistemática a cada una de las preguntas de investigación.

### **5.1.2. Método**

El concepto de método hace referencia a la ruta que el investigador debe tomar en función de una serie de operaciones, reglas y procedimientos para lograr mediante el análisis un objetivo determinado. Por lo tanto, la presente investigación tiene como base el uso de un método estadístico para la correcta adquisición de datos que permitan analizar de manera objetiva y efectiva dicha información.

### **5.1.3. Enfoque cuantitativo**

*“El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones.”*

(Hernández Sampieri, 2014)

Dada la recolección de datos y el análisis de los mismos, esta investigación se apega al enfoque cuantitativo; este fue el enfoque seleccionado debido a la naturaleza misma de la investigación, donde claramente se puede observar una metodología sistemática y coherente con las variables planteadas al inicio de la presente investigación.

Sin embargo, el motivo principal por el cual el método cuantitativo es utilizado en este trabajo de investigación es porque se pretende dar respuestas concretas y objetivas a las interrogantes planteadas en las preguntas de investigación, lo cual nos obliga a seguir una metodología sistemática y coherente con el marco teórica previamente desarrollado en el capítulo IV de la presente investigación.

#### 5.1.4. Características y procesos del enfoque cuantitativo



Figura 5.1.1 Características del enfoque cuantitativo

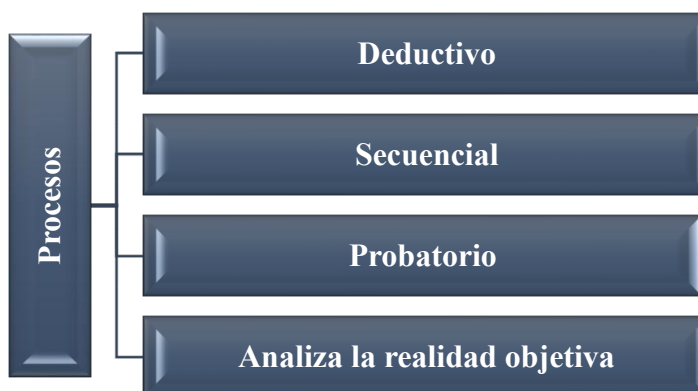


Figura 5.1.2 Procesos del enfoque cuantitativo

#### 5.1.5. Método de investigación

Para la presente investigación se hace uso del método deductivo, esto debido a que se extraen conceptos, definiciones, conclusiones lógicas y válidas a partir de las proposiciones previamente planteadas; ya que va de lo general a lo particular y se caracteriza porque contiene un análisis. De igual manera parte de generalizaciones ya establecidas, de reglas, leyes o principios destinados a resolver problemas particulares o efectuar demostraciones a manera de hipótesis que deben ser comprobadas.

### **5.1.6. Alcance de la investigación**

(Hernández Sampieri, 2014) afirma que: un estudio descriptivo busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas.

El alcance de esta investigación se puede categorizar como del tipo descriptivo, debido a que pretende profundizar en los aspectos técnicos de cada una de las variables, como por ejemplo, determinar el tipo de sensor a ser utilizado para transmitir una magnitud de presión dentro de la cavidad del molde de inyección de plástico; por otra parte, pretende hacer uso de una interfaz de comunicación que sea técnicamente compatible entre este tipo de sensor y la máquina de inyección de plástico; ambas variables medidas de forma independiente.

### **5.1.7. Diseño de la investigación**

Para efectos de la presente investigación se tiene a bien utilizar el diseño experimental debido a las características de la misma, es decir que al ser una investigación basada en la mejora de un proceso productivo (Implementación de un sensor de presión de cavidad) se espera que su diseño sea experimental, aunque no siempre será así; puesto que dependerá en gran medida del tipo de preguntas de investigación y de las hipótesis planteadas, sin dejar de lado la información con las que se cuenta y el alcance de la investigación ya previamente definido.

El diseño cuasi experimental, mismo que se adapta de mejor manera a la presente investigación tiene las siguientes características:

- Manipula deliberadamente al menos una variable independiente para ver su efecto y relación con una o más variables dependientes.
- Los sujetos no son asignados al azar a los grupos ni emparejados; sino que dichos grupos ya estaban formados antes del experimento. (Hernández Sampieri, 2014)

Debido a la implementación de un sensor de presión de cavidad que actualmente no existe en el proceso de inyección de plásticos, este se convierte en la variable independiente, misma que

pretende ser el diferenciador o mayor influyente en las respectivas variables dependientes; siendo quizás no la única variable causante del problema de piezas incompletas o no correctamente inyectadas, se presume un control moderado de dichas variables.

### 5.1.8. Esquema de la investigación

El esquema de la investigación, se realiza mediante el enfoque cualitativo, con un alcance de la investigación del tipo descriptivo y finalmente haciendo uso de un diseño de investigación del tipo cuasi experimental; tal como lo muestra la figura 5.1.3 donde es representado de manera gráfica para un mejor entendimiento de dicho esquema.

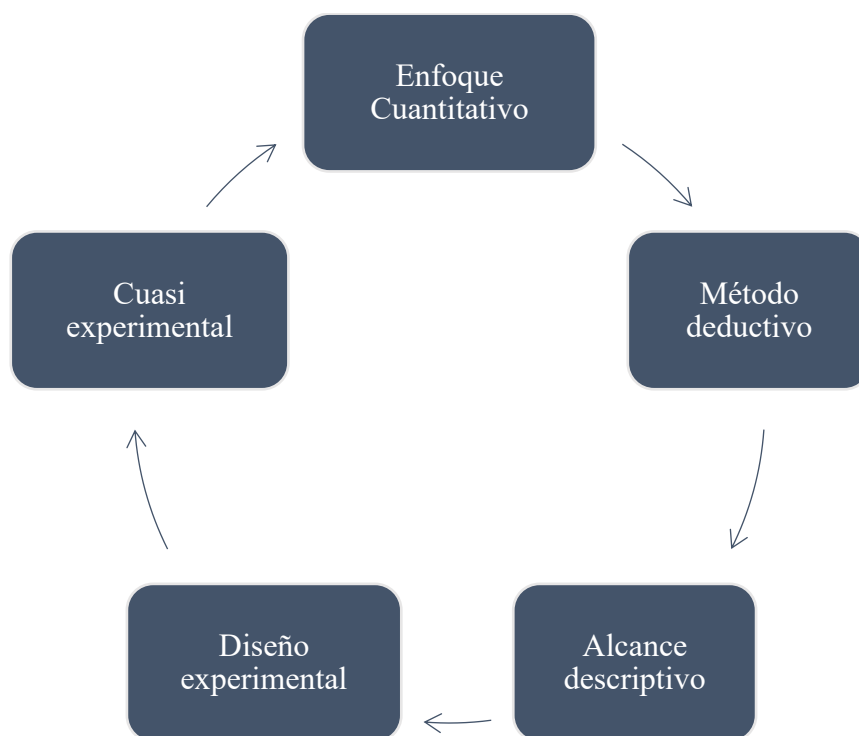


Figura 5.1.3 Esquema de la investigación

## 5.2. Población y muestra

Una vez ya definido el enfoque de la investigación, el alcance y el diseño de esta, se puede proceder a seleccionar la muestra y la población con la intención de delimitar aún más toda la información necesaria para la implementación de un sensor de presión de cavidad en un molde de inyección y beneficiar a la empresa Novem Honduras con un proceso más robusto y estable en cuanto al llenado de cavidad del molde de inyección.

Considerando que la implementación de un sensor de presión de cavidad puede ser un tema no muy común para aquellas industrias donde no se lleva a cabo un proceso de transformación de plásticos, se ha tomado a bien para la presente investigación tomar como población al personal que labora dentro de la empresa Novem Honduras, con un especial énfasis en tres departamentos, como lo son el departamento de ingeniería, el departamento de manejo de proyectos y por supuesto al departamento técnico de mantenimiento, con el fin de obtener información puntual y oportuna que ayude a encausar dicha investigación.

(Hernández Sampieri, 2014) Afirma que: *“una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones”* (p.174).

La población y la muestra extraída desde la fuente misma donde se suscita el trabajo de investigación, facilita en cierta medida el acceso a información de vital importancia para la toma de decisiones que ayuden al buen desempeño de la investigación y aporta cierto grado de confiabilidad de los datos; que para efectos del presente trabajo, constituyen un pilar importante para la elección del tipo de sensor a utilizar y con ello las características de la interfaz de comunicación idónea para dicho sensor de presión de cavidad.

### 5.2.1. Tipos de muestra

La muestra se puede clasificar en dos grupos principales:

- Muestras probabilísticas
- Muestras no probabilísticas

Para efectos de la presente investigación, se consideran las muestras probabilísticas aleatoria y estratificada, en consonancia con el diseño del tipo transaccional y descriptivo; ya que todos los individuos parte de la población electa, tienen la misma oportunidad de formar parte de la muestra del estudio.

### 5.2.2. Esquema población y muestra

Tal como se ha mencionado en apartados anteriores, tanto la población como la muestra será tomada de los empleados de la empresa Novem Honduras y especialmente de los tres departamentos ya mencionados, es decir, el departamento de ingeniería, el departamento de manejo de proyectos y el departamento técnico o de mantenimiento.

La población estimada es de unas 15 personas, la fórmula para cálculo de la muestra poblaciones finitas fue aplicada para realizar el cálculo de la muestra.

$$n = \frac{z^2(p)(q)(N)}{e^2(N-1)+z^2(p)(q)} \quad (5.2.1)$$

*Ecuación 5.2.1 Fórmula para el cálculo de la muestra*

$$n = \frac{1.96^2(0.50)(0.50)(15)}{0.05^2(15-1)+1.96^2(0.50)(0.50)} = 14.50 \quad (5.2.2)$$

*Ecuación 5.2.2 Cálculo de la muestra de la población*

Dado que la población es bastante pequeña, el instrumento se aplicará a las 15 personas, además se realiza la validación del tamaño de la muestra por medio de la fórmula que confirma ese valor.

Donde:

$n$  = Tamaño de la muestra

$z$  = Nivel de confianza 1.96 (si la confiabilidad es 95%)

$p$  = Proporción positiva (50% = 0.50)

$q$  = proporción negativa (50% = 0.50)

$e$  = Error máximo permitido (5% = 0.05)

En la figura 5.2.1 se resume tipo de muestra, unidad de análisis y delimitación del universo.

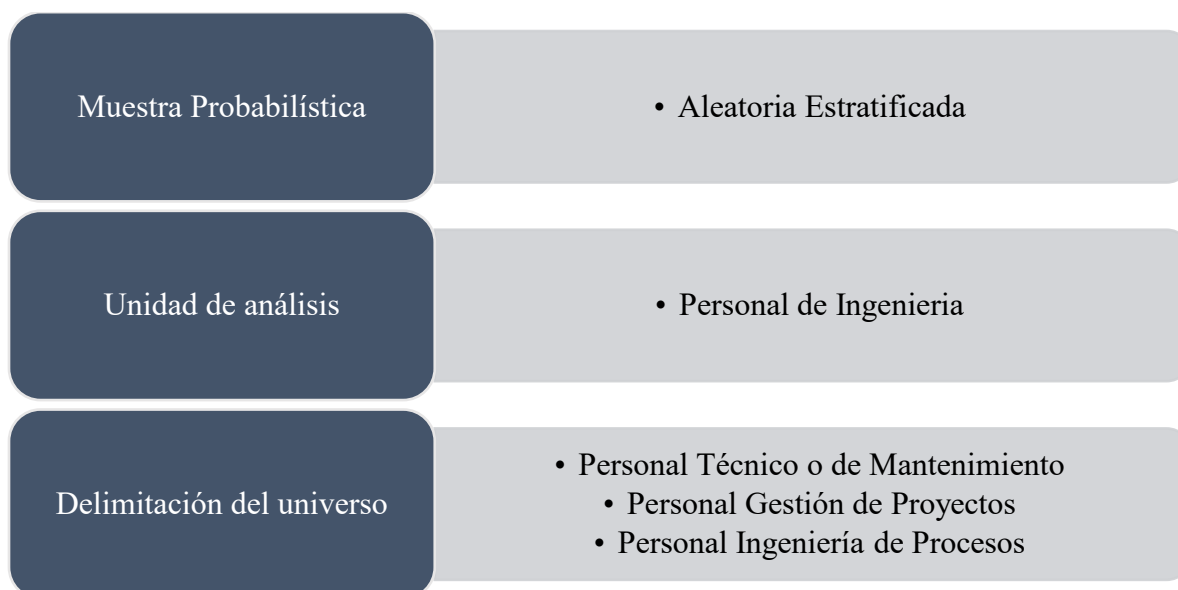


Figura 5.2.1 Esquema de población y muestra

### **5.3. Unidad de análisis y respuesta**

Para efectos de la presente investigación, la unidad de análisis estará enfocada en el personal técnico de la empresa Novem Honduras; es decir, los departamentos de ingeniería de procesos, gestión de proyectos y el departamento técnico de mantenimiento debido al conocimiento y experiencia adquiridos en el proceso de inyección de plástico. Será a las personas parte de estos tres departamentos a los cuales les será aplicada la encuesta.

Por su parte, la unidad de respuesta estará dirigida hacia los mandos intermedios y gerencia de estos tres departamentos de servicio, es decir, son ellos quienes poseen toda la información técnica pertinente y además confiable que ayude al buen desarrollo de la presente investigación.

### **5.4. Técnicas e instrumentos aplicados**

Según lo ya definido en el apartado 5.1.2 el método estadístico es la mejor forma de adquirir datos que sean no solamente representativos, si no a su vez confiables; es por esta razón que la técnica de recolección para la presente investigación es la encuesta, misma que será abordada con mayores detalles en el capítulo VI de esta investigación.

Esta encuesta es el medio mediante el cual se crea un vínculo de contacto en la unidad de análisis planteada en el apartado 5.3 de este documento; dando como resultado una encuesta del tipo dirigida, o dicho de otra manera, una encuesta profesional dirigida únicamente a aquellas personas o instituciones que cuentan con un alto grado de conocimiento en el tema de investigación, que para efectos de esta investigación son personas con conocimientos técnicos acerca del proceso de inyección de plásticos en la empresa Novem Honduras.

### 5.4.1. Instrumento de investigación

Como ya se ha detallado en el anterior apartado, el instrumento de investigación es la encuesta, la cual aportara a analizar la opinión calificada de expertos el tema, con el fin de llevar a cabo de manera efectiva la implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección de plástico en la empresa Novem Honduras.

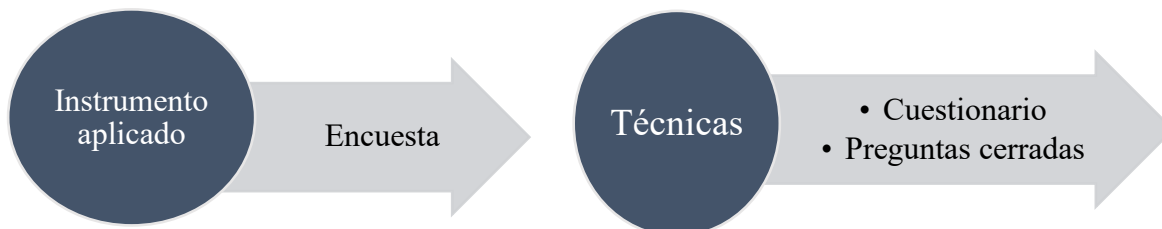


Figura 5.4.1 Instrumento y técnicas de adquisición de datos

## 5.5. Fuentes de información

Tal y como lo menciona (Hernández Sampieri, 2014) “*es conveniente tener varias fuentes de información y métodos para recolectar los datos*” lo cual es algo por supuesto deseable, ya que esto nos permite construir una sólida base de información y conocimiento que nos permitirá tener un rápido acceso a la información según sea el tema que se quiera abordar.

### 5.5.1. Fuentes primarias

Personal del departamento de ingeniería de procesos de la empresa Novem Honduras.

- Personal del departamento de gestión de proyectos de la empresa Novem Honduras.
- Personal técnico del departamento de mantenimiento de la empresa Novem Honduras.

### 5.5.2. Fuentes secundarias

- Libro Metodología de la investigación 6<sup>a</sup>. Edición, Autor Roberto Hernández Sampieri (2014)
- Libro Sensor Technology Handbook, Autor Wilson Jon. S (2005)
- Documento Plastics 100% Quality Injection Molding, Autor Kistler (2005)

- Documento Pressure sensors: The design engineer's guide, Autor AVNET ABACUS (2021)
- Documento Estudio de sensores piezoeléctricos, Autores Fernando Galeano, Axcel Enrique (2018)

## 5.6. Cronología de trabajo

La cronología del trabajo realizada es resumida y presentada en la tabla 5.6.1, donde se detallan las actividades realizadas durante la presente investigación.

*Tabla 5.6.1 Cronología de trabajo*

<b>Período de Actividades</b>	<b>Actividad</b>	<b>Desarrollo de las actividades</b>
Semana #1 del 19 al 25 de julio del 2021	Definición de la metodología de trabajo y discusión de la idea del proyecto.	Se procedió a explicar de manera clara y concisa los lineamientos a seguir en Proyecto Fase I.
Semana #2 del 26 de julio al 1ro. de agosto del 2021	Explicación de conceptos básicos para el buen desarrollo de la investigación.	Se reforzaron conceptos importantes de investigación y se afianzó la introducción a la misma mediante algunos ejemplos.
Semana #3 del 2 al 8 de agosto del 2021	Entrega del avance #1	Desarrollo de la introducción, antecedentes, definición / enunciado del problema de investigación.
	Entrega del avance #2	

---

Semana #4 del 9 al 15 de agosto del 2021

Se procedió a desarrollar el planteamiento del problema.

- Antecedentes
- Definición del problema
- Preguntas de investigación
- Hipótesis y variables de investigación
- Justificación de la investigación.

Entrega del avance #3

Semana #5 del 16 al 22 de agosto del 2021

Desarrollo de los objetivos de investigación y el marco teórico.

Retroalimentación y correcciones de los capítulos desarrollados a la fecha.

Semana #6 del 23 al 29 de agosto del 2021

Se recibió la retroalimentación de los avances entregados y asesoría en cuanto al desarrollo del instrumento de medición.

Entrega del avance #4

Semana #7 del 30 de agosto al 5 de septiembre del 2021

Desarrollo de la metodología/proceso

- Enfoque de la investigación
  - Método de investigación
  - Alcance de la investigación
-

---

		<ul style="list-style-type: none"><li>• Diseño de la investigación</li><li>• Muestra</li><li>• Unidad de análisis</li><li>• Instrumento de investigación</li><li>• Fuentes de información.</li><li>• Resultados y análisis de la investigación.</li></ul>
Semana #8 del 6 al 12 de septiembre del 2021	Entrega del avance #5	Desarrollo de las conclusiones, recomendaciones y la bibliografía utilizada durante la investigación y retroalimentación de los capítulos anteriormente entregados.
Semana #9 del 13 al 19 de septiembre del 2021	Finalización del proyecto de investigación.	Se finaliza el proyecto con los respectivos puntos de mejora recibidos por el asesor de tesis.
Semana #10 del 20 al 26 de septiembre del 2021	Compromiso de desarrollo detallado.	Compromisos del proyecto.

---

Con la intención de poder visualizar de forma más clara toda la información de la tabla 5.6.1 se toma a bien el crear un diagrama de Gantt que nos facilite el acceso a la información en relación al tiempo.

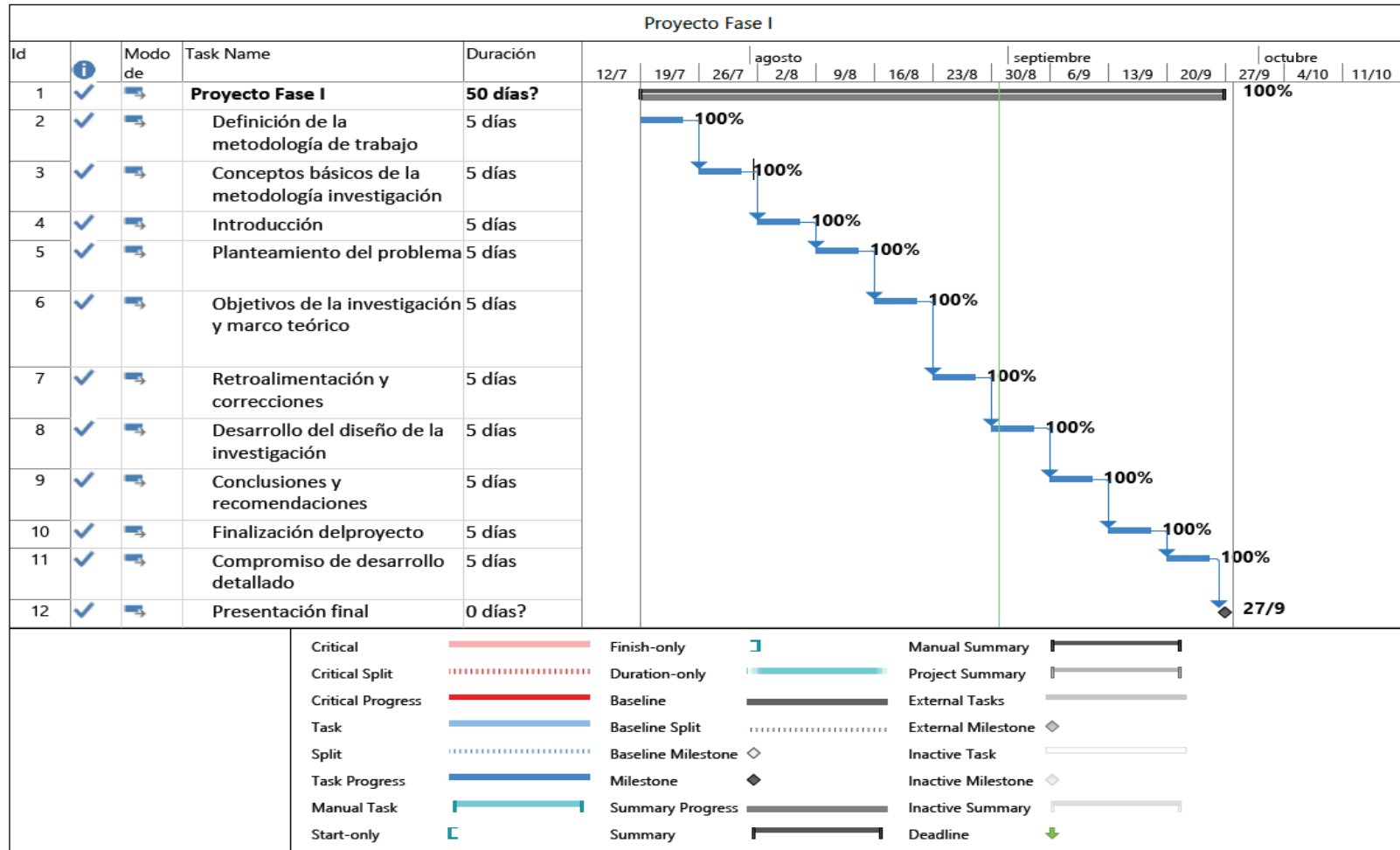


Figura 5.6.1 Diagrama de Gantt Proyecto de Investigación

## CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 6.1. Encuesta aplicada

En este apartado se analizarán los datos obtenidos de la encuesta, dicho de otra manera, se analizarán los datos a partir del instrumento de medición planteado en la sección 5.4 del presente documento. Adicionalmente se recuerda que dicho instrumento fue dirigido únicamente al personal entendido en el tema de inyección de plástico con el fin de darle veracidad a los resultados obtenidos.

Se realiza la encuesta haciendo uso de la herramienta Formularios de Google, con un total de quince (15) preguntas acerca del tema en mención de la presente investigación, tal como se muestra en los anexos, y cuyo título e introducción se aprecia en la figura 6.1.1



**Implementación de sensor de cavidad**

---

La implementación de un sensor de presión de cavidad en el molde de inyección de plástico representa una potencial mejora para el proceso productivo en términos de la calidad.

Debido a su conocimiento en el tema de inyección de plásticos, ha sido usted seleccionado para responder a las siguientes preguntas en relación a la implementación de esta tecnología; agradezco de antemano su valioso aporte al tema de investigación.

*Figura 6.1.1 Encabezado de la encuesta profesional aplicada*

La figura 6.1.1 muestra el encabezado de la encuesta profesional aplicada y a continuación se muestra el resultado y el respectivo análisis de cada una de las trece (13) preguntas aplicadas.

### 6.1.1. Análisis de los datos obtenidos

#### Pregunta 1.

¿Cuántos años de experiencia tiene usted en el proceso de inyección de plásticos?

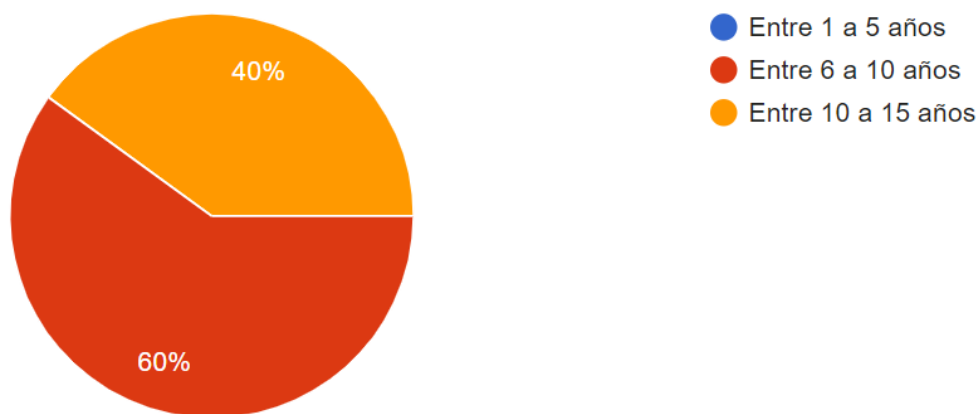


Gráfico 6.1.1 Años de experiencia de los participantes de la encuesta

#### Análisis de la pregunta 1.

Algo muy positivo para la presente investigación es el hecho de que la mayor parte de los encuestados cuenta con muchos años de experiencia en el proceso de inyección de plástico, lo que da validez a los datos obtenidos para la presente investigación.

**Pregunta 2.**

¿En qué departamento trabaja usted?

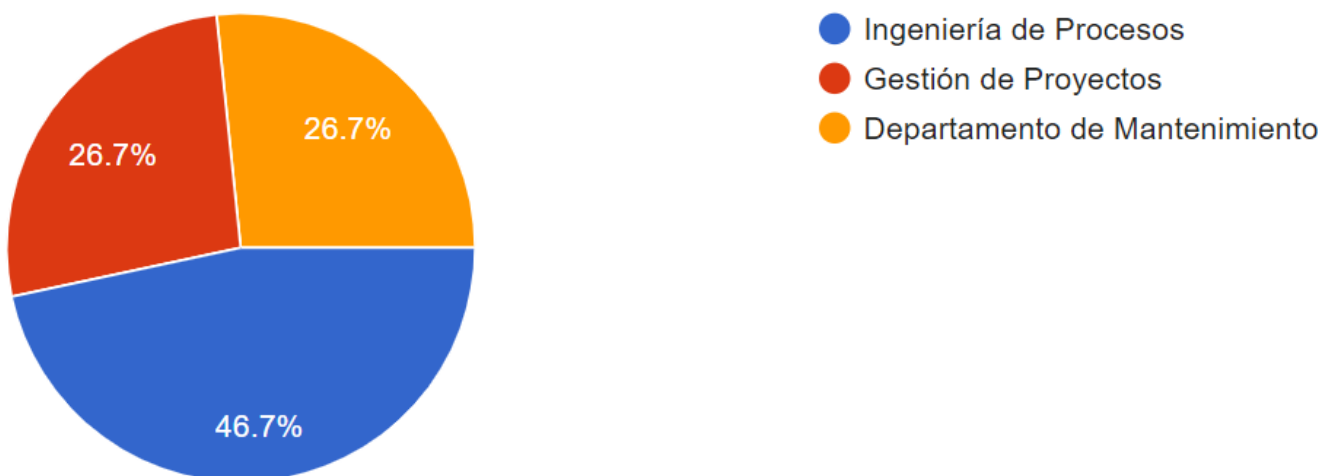


Gráfico 6.1.2 Departamento al que pertenecen los encuestados

**Análisis de la pregunta 2.**

El propósito principal de esta pregunta es ver de dónde proceden los encuestados y conocer mejor su aporte a la investigación, para el caso el departamento de ingeniería de procesos es muy importante debido a que son quienes ayudan al proceso de diseño y el departamento de mantenimiento aporta información técnico sustancial e importante para el desarrollo de la investigación, no menos importante es el departamento de gestión de proyectos que se vuelve clave a la hora de introducir nuevas oportunidades de mejora ya que son el primer filtro al momento de requerir una inversión.

### Pregunta 3.

¿Sabe usted si actualmente se tienen problemas de calidad en el producto por problemas de llenado de cavidad?

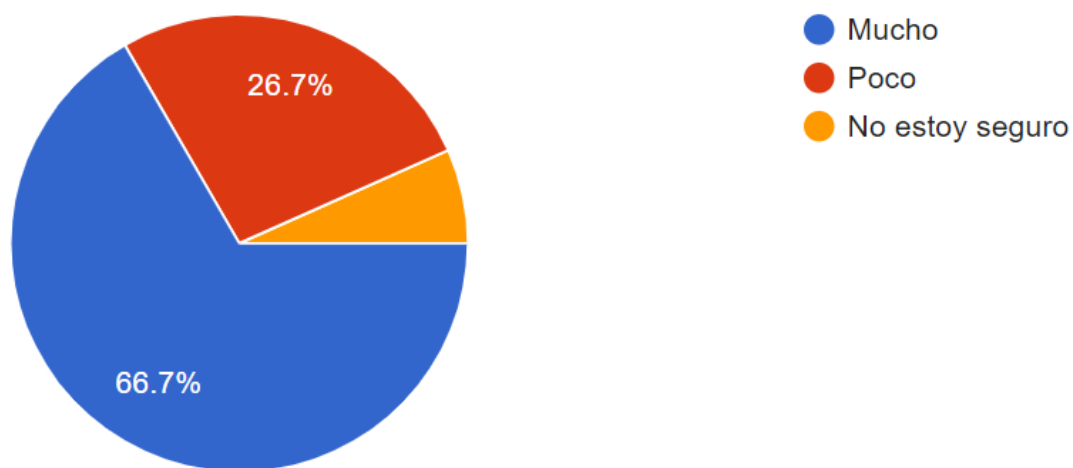


Gráfico 6.1.3 Medición del nivel de conocimiento acerca del problema

### Análisis de la pregunta 3.

El propósito principal de esta pregunta es medir el nivel de conocimiento de los problemas de llenado de cavidad, para el caso la mayoría de ellos conocen o están al tanto de los problemas de calidad relativos al llenado de cavidad del molde de inyección de plástico; esto se vuelve importante, debido a que será más fácil poder presentar el proyecto de mejora y que todos los departamentos involucrados colaboren a la solución del problema planteado.

**Pregunta 4.**

¿Basado en la pregunta anterior, considera usted que el actual sistema de llenado por volumen es eficiente?

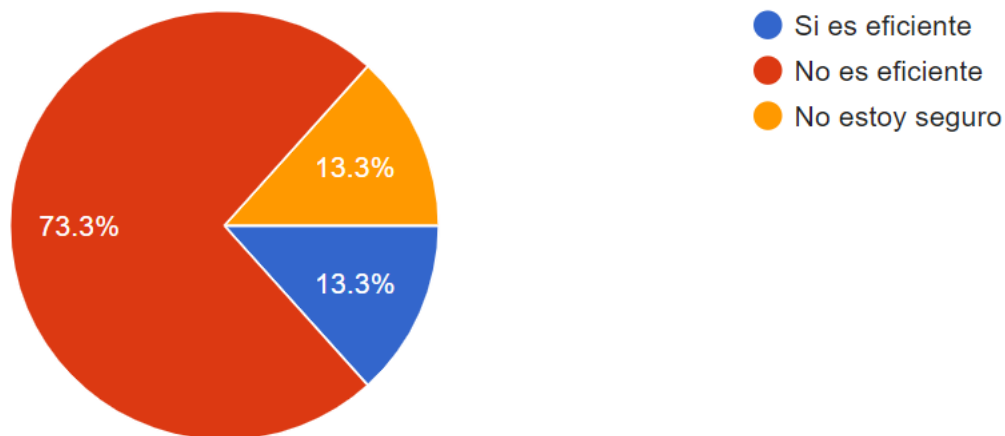


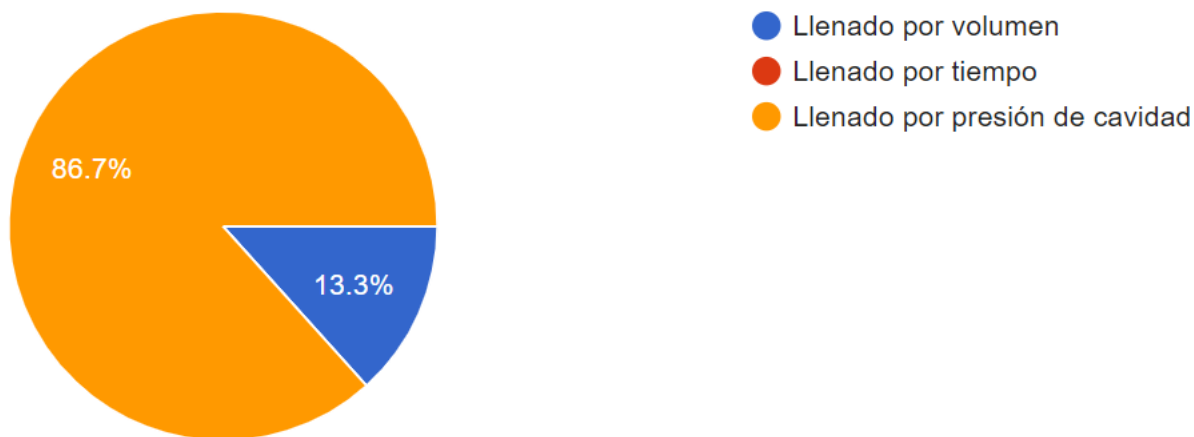
Gráfico 6.1.4 Eficiencia del sistema actual de llenado de cavidad

**Análisis de la pregunta 4.**

Este gráfico en particular es muy importante debido a que muestra que más del 70% de los encuestados coinciden en que el actual sistema de llenado de cavidad para el molde de inyección no es el más eficiente en términos de las piezas defectuosas que se obtienen al hacer uso del mismo.

**Pregunta 5.**

¿Cuál considera usted que puede ser el mejor sistema de llenado de cavidad?



*Gráfico 6.1.5 Mejor sistema de llenado de cavidad*

**Análisis de la pregunta 5.**

Considerando que el 86% de los encuestados coincide en que el mejor sistema de llenado es el que se basa en el uso del sensor de presión de cavidad, demuestra que este proyecto de investigación tiene un alto potencial de llegar a obtener los recursos necesarios para su implementación y sobre todo el apoyo de los tres departamentos más importantes en términos de diseño, planeación e implementación de un sensor de presión de cavidad para el molde de inyección de plástico.

### Pregunta 6.

¿En su opinión valdría la pena invertir en un sistema que impida los problemas de llenado de cavidad?

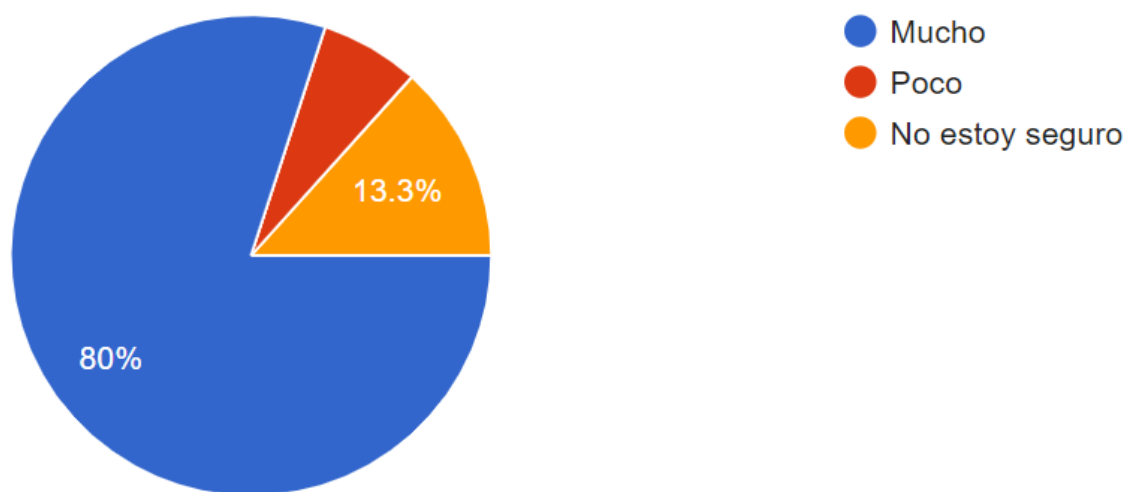


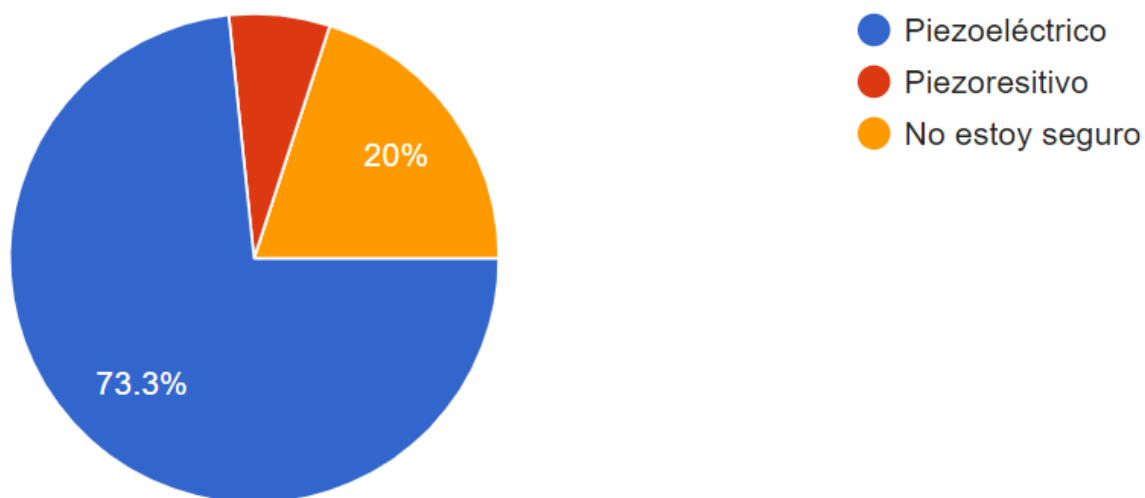
Gráfico 6.1.6 Medición de la intención de inversión para la mejora

### Análisis de la pregunta 6.

Esta pregunta es muy importante para conocer la intención de inversión o las probabilidades de obtener una respuesta positiva al momento de solicitar la misma; para el caso en esta pregunta el 80% de los encuestados, mismos que pertenecen a tres departamentos distintos, concuerdan en que este proyecto tiene altas probabilidades de ser considerado para un proyecto de inversión.

**Pregunta 7.**

¿Qué tipo de sensor cree usted que se adaptaría mejor al proceso de llenado por presión de cavidad?



*Gráfico 6.1.7 Tipo de sensor sugerido*

**Análisis de la pregunta 7.**

En esta pregunta se puede confirmar que la mejor opción para la implementación de un sensor de presión de cavidad, es del tipo piezoeléctrico debido a sus características; lo cual es coherente con lo investigado en el marco teórico descrito en el capítulo IV de la presente investigación.

### Pregunta 8.

¿Considera usted que un amplificador de carga sería la mejor opción para la interfaz sensor - máquina?

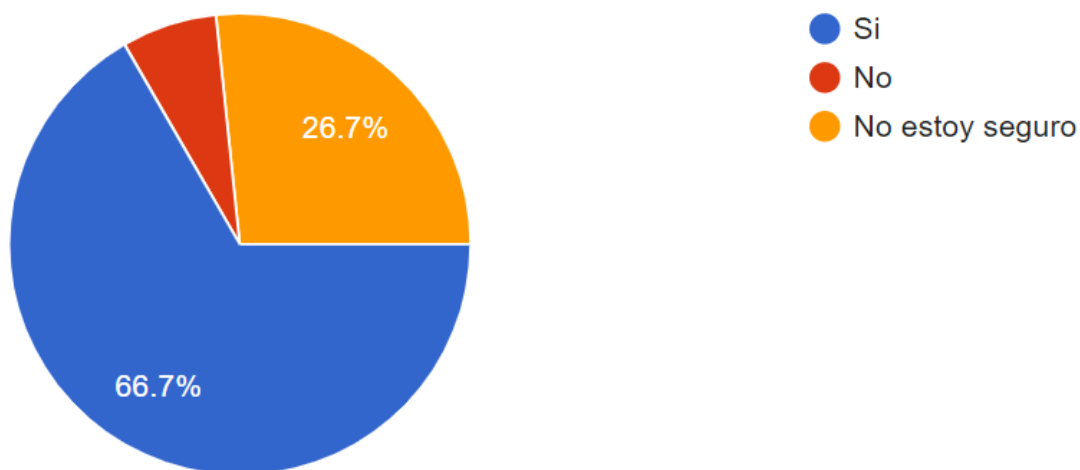


Gráfico 6.1.8 Tipo de interfaz de comunicación

### Análisis de la pregunta 8.

La interfaz de comunicación entre el sensor y la máquina, juega un papel sumamente importante al momento de llevar a cabo el proyecto; sin embargo, el 66% de los encuestados cree que el amplificador de carga es una buena elección; esto nos confirma una vez más que el uso de un sensor del tipo piezoeléctrico sigue siendo una buena elección y que este tipo de amplificador es su mejor compañero.

**Pregunta 9.**

¿Qué porcentaje de mejora cree usted que se tendría en el caso de implementar un sensor de presión de cavidad en el molde de inyección?

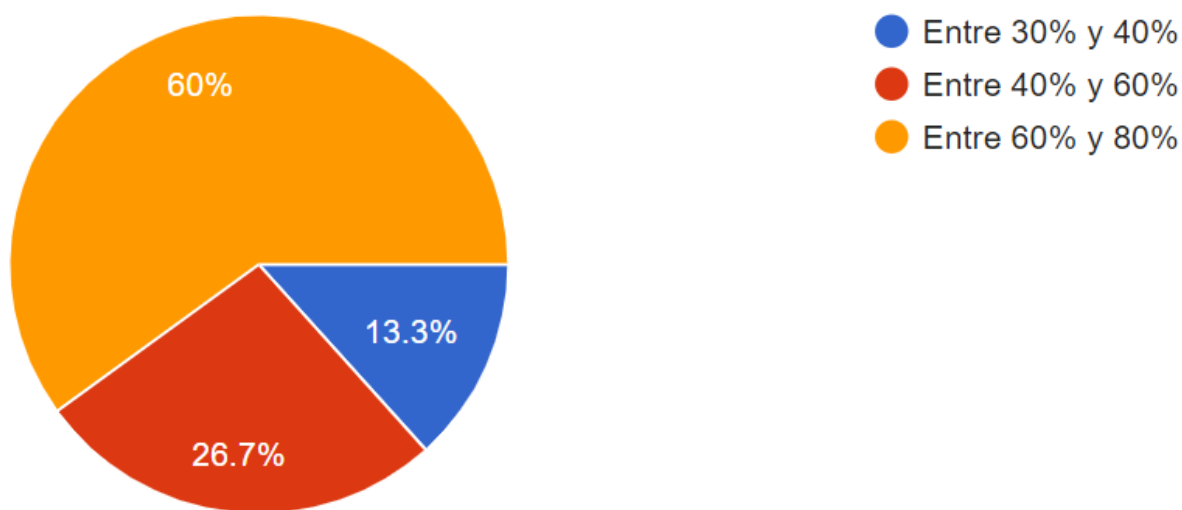


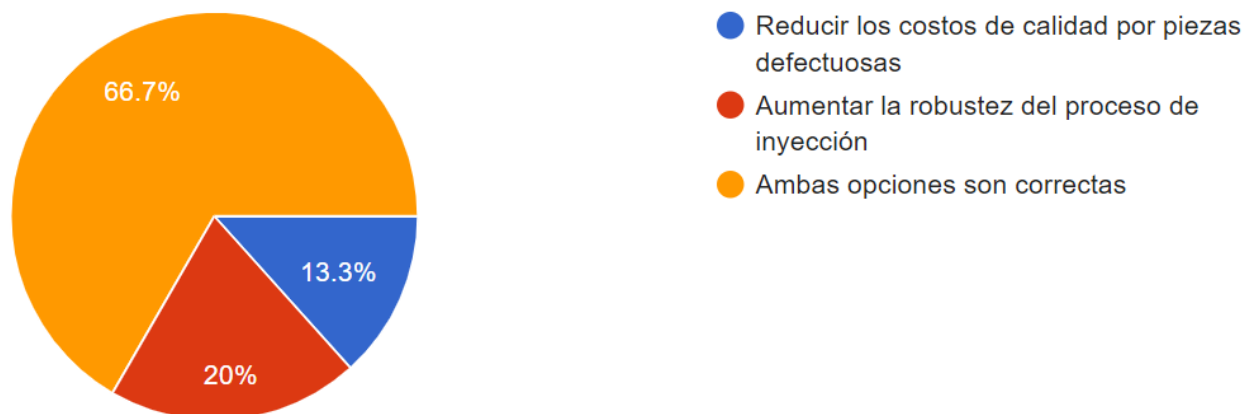
Gráfico 6.1.9 Porcentaje de mejora proyectado

**Análisis de la pregunta 9.**

De manera muy alentadora y positiva para el proyecto de investigación, el 60% de los encuestados cree que la implementación de un sensor de presión de cavidad de un molde de inyección puede llegar a reducir hasta en un 80% la incidencia de piezas rechazadas por problemas de llenado, lo cual es una de las hipótesis de investigación.

**Pregunta 10.**

¿Qué efectos traería la implementación de un sensor de cavidad de presión?



*Gráfico 6.1.10 Efectos de la implementación de un sensor de cavidad*

**Análisis de la pregunta 10.**

En la gráfica 5.6.10 se puede concluir que la mayoría de los encuestados, aun perteneciendo a tres departamentos distintos, coinciden en que la implantación de un sensor de presión de cavidad no solamente reduciría los costos de calidad por piezas rechazadas; sino que también contribuiría a robustecer el proceso de inyección de plásticos. Lo cual es indicativo de las ventajas de la implementación de dicho sensor de presión de cavidad.

### Pregunta 11.

¿Por qué considera usted que los moldes de inyección no incluyen un sensor de presión de cavidad de forma predeterminada?

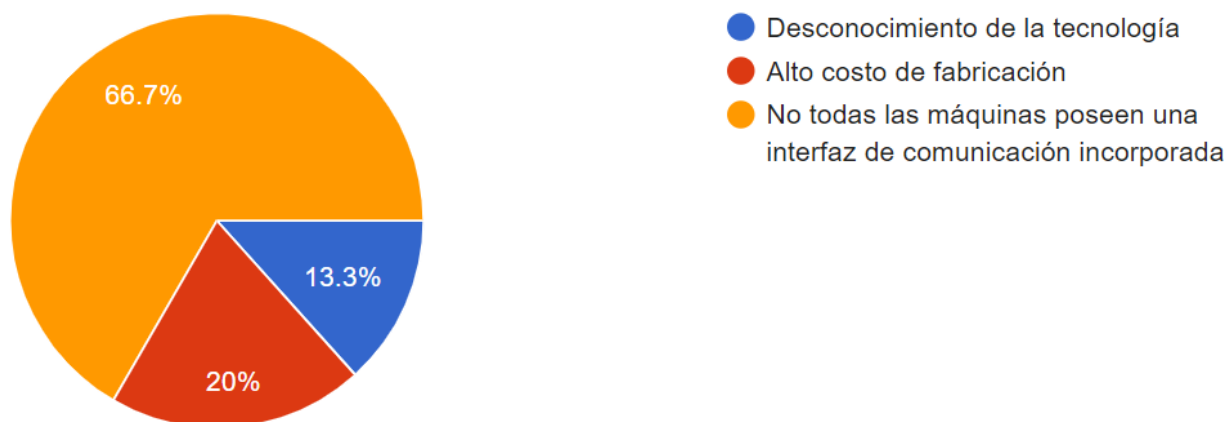


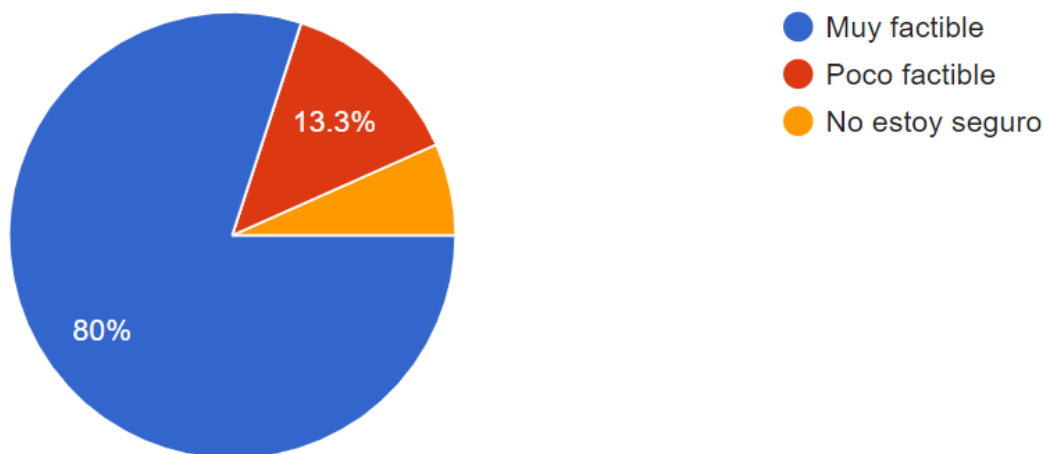
Gráfico 6.1.11 Motivos por los que el sensor de presión no viene pre instalado

### Análisis de la pregunta 11.

Esta pregunta formula una interesante interrogante, ya que sabe que el sensor de presión de cavidad es una muy buena alternativa, sin embargo, no viene incluido de fábrica en el molde y esto se debe en gran medida a que según el 66% de los encuestados cree que se debe a que la máquina no cuenta con una interfaz de comunicación para este tipo de sensores por lo cual fortalece la intención de crear una interfaz externa entre el sensor y la máquina de inyección.

**Pregunta 12.**

¿Considera usted que la implementación de un sensor de presión de cavidad sería financieramente factible en términos del retorno de inversión?



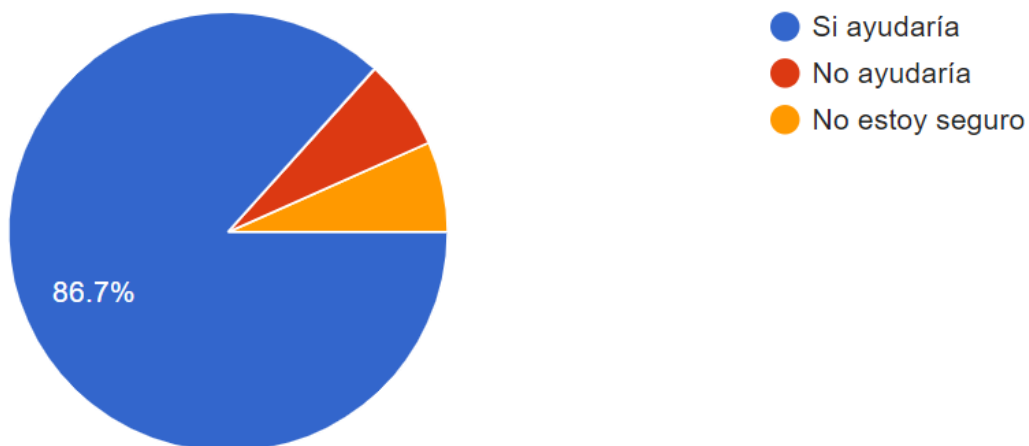
*Gráfico 6.1.12 Factibilidad del proyecto en función de su retorno de inversión*

**Análisis de la pregunta 12.**

Sin lugar a dudas una pregunta sumamente importante para lograr estimar la percepción de los encuestados en cuanto a la factibilidad del proyecto; que para el caso el 80% de los encuestados estima que el proyecto de implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección de plástico es financieramente rentable y el ahorro proyectado hace muy atractivo el retorno de inversión.

**Pregunta 13.**

¿Ayudaría en alguna medida la implementación de esta tecnología al logro de uno o más indicadores de su departamento?



*Gráfico 6.1.13 Aporte del proyecto al alcance de indicadores*

**Análisis de la pregunta 13.**

Como es de esperar, el alcance o logro de indicadores es el fin primordial de cualquier departamento dentro del engranaje productivo de una empresa; por lo tanto, es muy prometedor para esta investigación que el 86% de los encuestados opinen que la implementación de la misma vendría a colaborarles en el alcance de sus metas o indicadores.

### 6.1.2. Correlación entre las preguntas formuladas

Una de las intenciones del presente apartado es el poder correlacionar dos o más de las preguntas planteadas en la encuesta profesional aplicada.

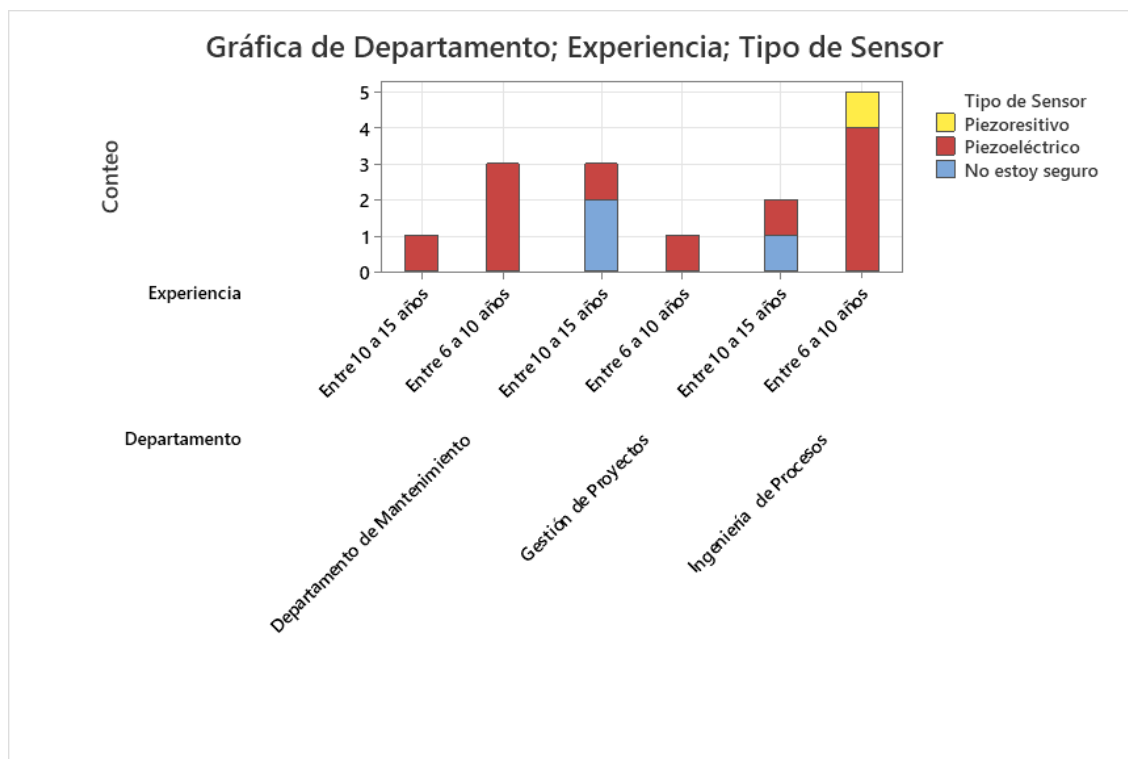
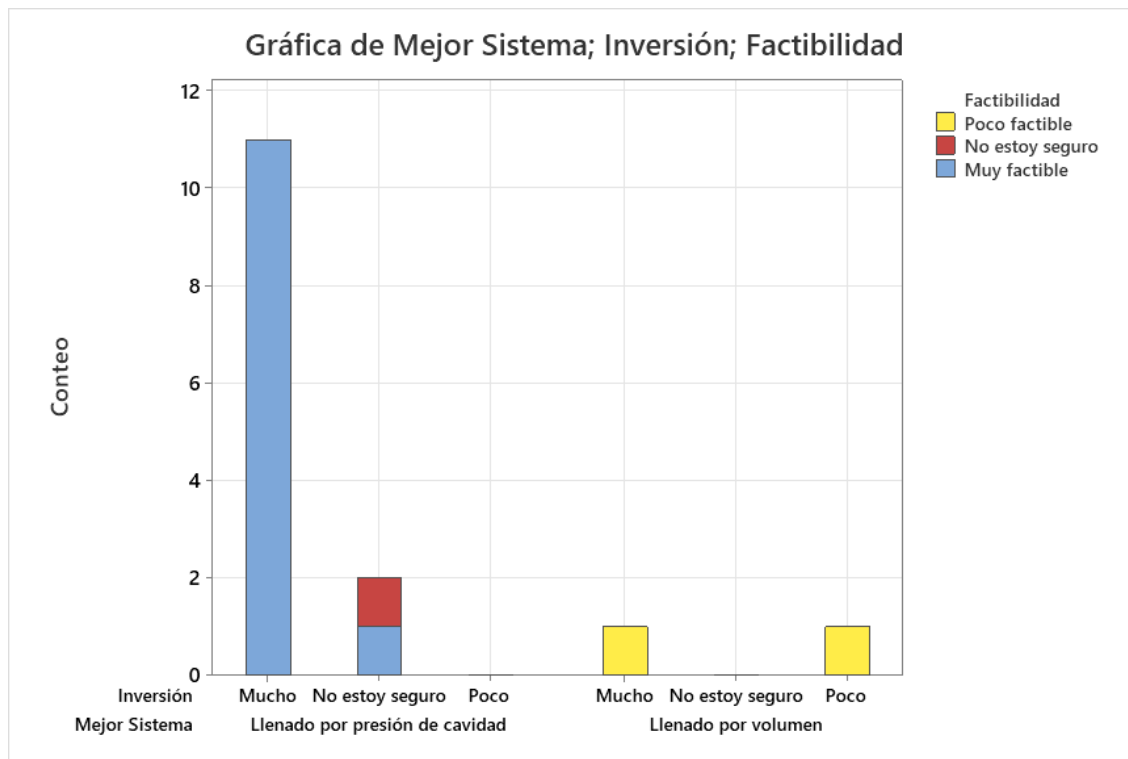


Gráfico 6.1.14 Correlación entre Departamento, Experiencia y Tipo Sensor

En el gráfico 6.1.14 se puede observar claramente que los encuestados con mayor experiencia y de los departamentos de Ingeniería de procesos y el departamento de mantenimiento tienen una preferencia hacia el sensor del tipo piezoeléctrico.



*Gráfico 6.1.15 Correlación entre Sistema, Inversión y Factibilidad*

En el gráfico 6.1.15 se puede constatar que hay criterio unificado por parte de los encuestados con respecto a que ellos concuerdan en que una inversión en un sensor de presión de cavidad es muy factible en términos del retorno de inversión; lo cual hace sentido si se consideran los altos costos de manufactura por concepto de piezas rechazadas por problemas de llenado.

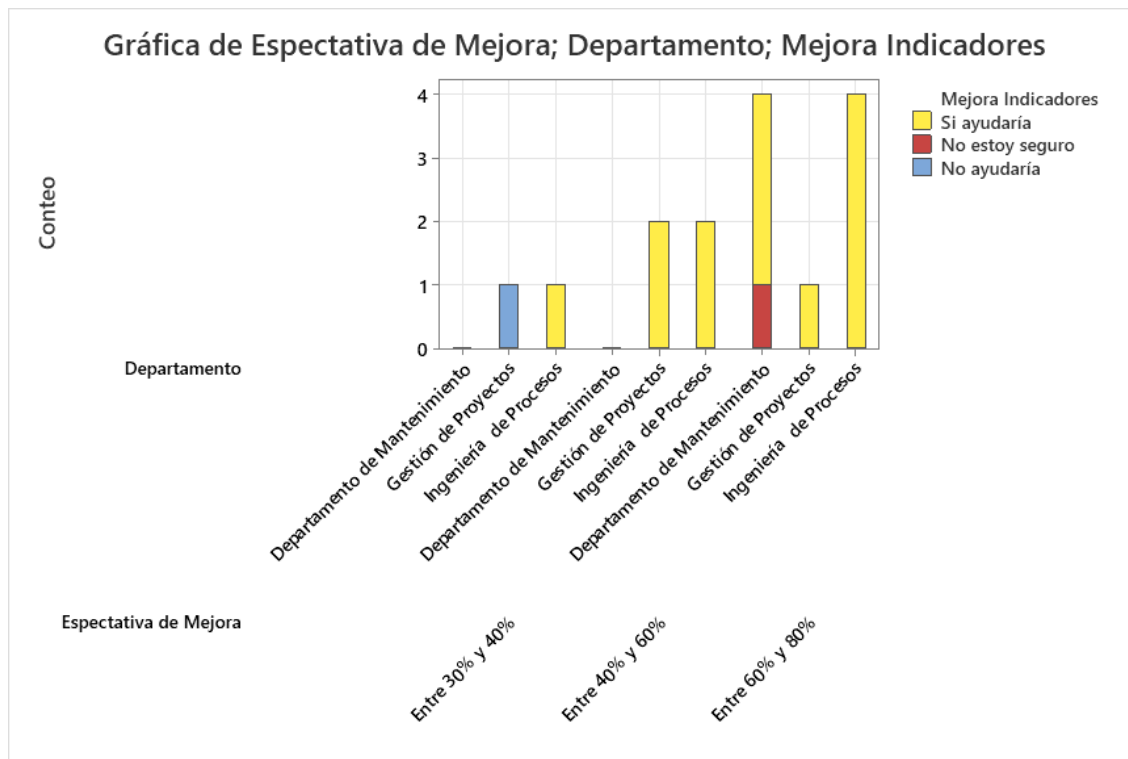


Gráfico 6.1.16 Correlación entre expectativa de mejora, Departamento e Indicadores

Probablemente el gráfico 6.1.16 sea uno de los más importantes debido a que representa la confiabilidad que se tiene en cuanto al proyecto planteado; es decir, la mayoría de las personas encuestadas, siendo parte de tres distintos departamentos con distintos indicadores de desempeño, dijeron estar optimistas con el proyecto; teniendo una expectativa de reducción de los defectos relacionados al llenado de cavidad de hasta un 80% y que esta mejora ayudaría en el cumplimiento de uno o más indicadores de su departamento.

Dados los anteriores resultados se puede tener una expectativa positiva en cuanto al desarrollo del presente proyecto de investigación; ya que el mismo representa una mejora significativa para el proceso de inyección de plásticos y contaría con el apoyo de los departamentos de Gestión de Proyectos, Ingeniería y el departamento de Mantenimiento.

## **CAPÍTULO VII. VIABILIDAD**

### **7.1. Viabilidad Operacional**

La viabilidad de este proyecto desde el punto de vista operacional, es viable debido a que la empresa Novem Honduras, internamente tiene en la actualidad un alto porcentaje de piezas rechazadas debido a problemas de llenado de cavidad; esto impide optimizar el uso de las máquinas de inyección de plástico y por lo tanto afecta de manera directa la disponibilidad de piezas buenas o aptas desde el punto de vista de calidad para la venta, esto es un buen indicativo de que el proyecto será operacionalmente viable; es decir que el mismo se pondrá en uso una vez aprobado y ejecutado por parte del personal operativo y mandos intermedios, mismos que están muy alineados con la mejora continua de los procesos productivos, esto hace que se convierta en un indicativo de prioridad para el buen funcionamiento no solamente de los equipos, sino también de la estabilidad cualitativa del producto final.

La nueva interfase entre el sensor de presión de cavidad y la máquina de inyección tendrá la finalidad de controlar el proceso de llenado de manera autónoma o inteligente, pudiendo asegurar el llenado de cavidad en base la presión programada y evitar con ello las variaciones indeseables en el llenado debido a cambios imprevistos en la densidad del material polimérico.

Dada la iniciativa de implementación de este sensor de presión de cavidad en el molde de inyección de plástico, la operación de este proceso tendrá una mejora significativa; cabe mencionar que este cambio no requiere de una capacitación especial o muy extensa para el personal operativo; ya que lo único que se requiere es una inducción técnica en cuanto a la conexión de dicho sensor a la máquina a través de la interfaz de comunicación y a su vez la conexión entre la interfaz y el respectivo sensor de presión de cavidad por parte del personal de ingeniería de proyectos, lo cual es viable operacionalmente; ya que la empresa cuenta con profesionales en las diferentes áreas de la ingeniería que pueden tomar este rol de capacitadores al personal operativo.

### **7.2. Viabilidad Económica**

Desde el punto de vista financiero, la inversión en este proyecto es viable; debido a que la empresa Novem Honduras cuenta en la actualidad con altos costos de fabricación en el proceso de

moldeo por inyección y las proyecciones de ventas para el año 2022 muestran un aumento significativo en el volumen de producción, por lo que la implementación de un sensor de presión de cavidad vendrá a reducir el impacto económico negativo que representa el incremento de piezas rechazadas por problemas de llenado de cavidad.

La realización de dicha inversión potenciará la estabilidad del proceso productivo con la respectiva optimización de la calidad del producto; lo que traerá como consecuencia una mejora en la competitividad y de manera consecuente, un aumento en el margen de ganancia sobre el producto por medio de la reducción del desperdicio por medio de la merma de las piezas que se envían a desecho.

En perspectiva, la implementación de un sensor de presión de cavidad no representa un alto costo de inversión, si se consideran los altos costos por concepto de piezas rechazadas ya detallados en la sección 2.1 del presente informe. La implementación de un sensor de presión de cavidad en el moldeo por inyección es un elemento altamente deseable si lo que se busca es lograr estabilidad del proceso; sin embargo, algunos inversionistas podrían verlo como algo no necesario o incluso pensar en el como un elemento prescindible; sin embargo, su aplicación es altamente redituable como se verá en detalle en la sección 8.3 del presente informe.

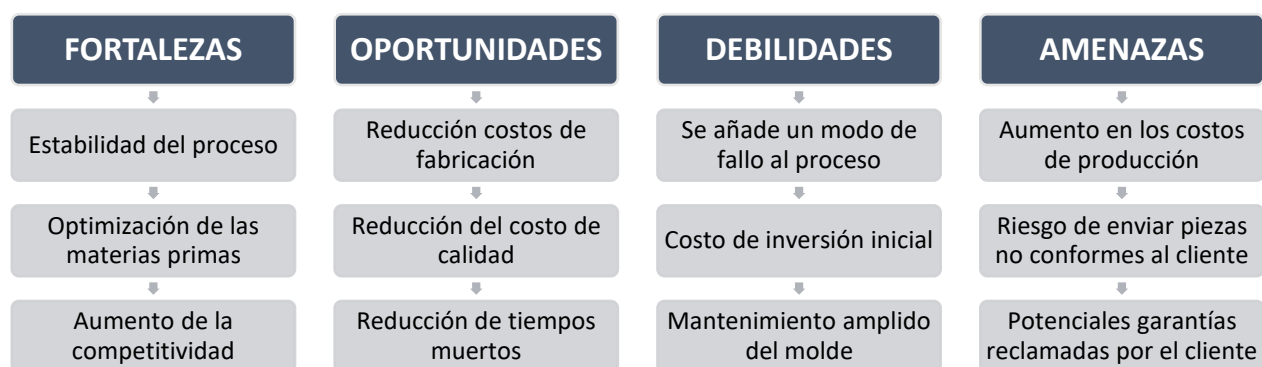
La viabilidad económica de este proyecto se ve altamente impactada por el potencial que representa la generación de beneficios para la compañía; esto debido al mejor aprovechamiento de los recursos financieros disponibles por medio de la reducción de los costos operativos en materia de energía eléctrica por ejemplo, es decir la energía eléctrica que se utiliza para la fabricación de una pieza que posteriormente no puede ser vendida por problemas de calidad, lo que incrementa la cantidad de kilowatts hora invertidos por pieza producida, impactando de manera directa el margen de contribución para este producto en específico.

### **7.3. Viabilidad de Mercado**

La viabilidad de mercado para el proyecto de implementación de un sensor de cavidad para un molde de inyección de plástico se fundamenta en la necesidad de su mercado meta, es decir en este caso el proceso productivo de las máquinas de inyección de plástico de la empresa Novem Honduras. Para efectos de la presente investigación se define al mercado meta como el departamento de inyección de plásticos de la empresa Novem Honduras; ya que este departamento

requiere de un producto que venga a satisfacer una necesidad no cubierta hasta el día de hoy, esta necesidad se puede traducir en el no cumplimiento de un indicador de calidad no alcanzado; esto debido a la falta de estabilidad en el proceso de llenado del molde de inyección.

La viabilidad de mercado puede llegar a definir la aceptación o por el contrario el rechazo de un proyecto determinado por parte de un grupo de inversionistas o ya sea de un grupo gerencial, este último es el caso de la presente investigación. Para llevar a cabo esta viabilidad de mercado se tiene a bien hacer uso de la herramienta conocida como análisis FODA (fortalezas, oportunidad, debilidades y amenazas) por medio del cual podemos tener un mejor panorama acerca de las fortalezas y debilidades de nuestro proyecto.



*Figura 7.3.1 Análisis FODA como parte de la viabilidad de mercado*

Como se puede observar en el análisis FODA de la figura 7.3.1, el proyecto de implementación de un sensor de presión de cavidad se vuelve viable desde el punto de vista de su mercado meta; esto debido a una necesidad no cubierta y un alto potencial de impacto en beneficio del mercado meta.

## **CAPÍTULO VIII. APLICABILIDAD**

### **8.1. Análisis de Mercado**

Debido a la implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección, la empresa Novem Honduras y en específico el área de inyección de plásticos, contará con un proceso más repetitivo, confiable y robusto; esto supone una gran ventaja competitiva en el ámbito productivo y por consiguiente un valor agregado con respecto a la satisfacción del cliente, mismo que recibirá piezas mejor elaboradas y con los más altos estándares de calidad.

Un punto a considerar como algo positivo, es que tanto la interfaz de comunicación y el sensor de presión de cavidad son considerados dispositivos libres de mantenimiento, por lo que esto representa no solamente una ventaja competitiva, sino que a su vez asegura la continuidad de la operación productiva con la menor cantidad de tiempos muertos posible.

Como parte del análisis de mercado se determinó consultarles a expertos en el tema de la inyección de plástico dentro de la empresa Novem Honduras a través de la encuesta profesional detallada en la sección 6.1 del presente informe, siendo los departamentos de ingeniería de procesos, manejo de proyectos y el departamento técnico de mantenimiento los encuestados; siendo ellos el mercado objetivo del proyecto en cuestión y se recolectaron datos que fue posteriormente analizada, adquiriendo información importante para el adecuado desarrollo del proyecto, como por ejemplo, que la implementación de un sensor de presión de cavidad vendría a robustecer el proceso productivo y reducir con ello los costos de fabricación, trayendo no solamente una mejora en términos económicos, sino que además se pretende tener una mejora en términos de la calidad.

Dado el análisis de mercado se pudo obtener valiosa información del mercado meta, así como sus expectativas del producto a implementar; por otra parte, se realizó el respectivo análisis de las oportunidades y los riesgos que conlleva la implementación de un sensor de presión de cavidad mediante un análisis FODA y se pudo determinar que las fortalezas de este proyecto superan sus debilidades, lo que supone un éxito en su implementación.

### **8.1.1. Análisis de la Demanda**

El proceso del moldeo por inyección de plástico ha evolucionado a lo largo de los años y se va haciendo cada vez más eficiente conforme se descubren nuevas tecnologías de procesamiento, los países de primer mundo han invertido muchos recursos en el desarrollo de este potente proceso productivo, sobre todo a nivel de automatización; todo este desarrollo tecnológico e inversión de recursos responde precisamente a una demanda del mercado de la inyección de plástico, una demanda que además es creciente. Son cada vez más las empresas que hacen una migración del clásico sistema por llenado volumétrico al sistema de llenado mediante la presión de cavidad del molde; esto corresponde a un marcado aumento en la exigencia de los productos requeridos por los distintos clientes, productos que tienen no solamente un alto grado de dificultad en términos de fabricación, sino que a su vez son productos con altas expectativas de calidad a largo plazo.

La empresa Novem Honduras cuenta con doce de estas máquinas de inyección, de momento ninguna de ellas cuenta con el sistema de llenado por presión de cavidad; sin embargo, son cada vez más los clientes que desarrollan productos que requieren una alta estabilidad dimensional, por lo tanto, se requiere de un proceso altamente confiable y sostenible a lo largo del tiempo; es por esta razón que la demanda está claramente identificada. Los altos costos por temas de calidad presentados en la sección 2.1 dejan evidenciada una necesidad no cubierta y por lo tanto una demanda no satisfecha.

Dados los altos costos energéticos y de las materias primas, se puede ver que la aplicabilidad de este proyecto en la empresa Novem Honduras representa un ahorro potencial debido a la mejora del proceso productivo y como consecuencia una baja en las cantidades reportadas como desechos; desde el punto de vista de la demanda, este proyecto es aplicable con toda seguridad a la satisfacción del cliente final y a la optimización interna de la compañía. De esta manera, con la implementación del sensor de presión de cavidad y la respectiva interface de comunicación se espera lograr la reducción de al menos un 60% - 80% de las piezas defectuosas por problemas de llenado de cavidad.

### 8.1.2. Análisis de la Oferta

El análisis de la oferta se vuelve muy importante, sobre todo para identificar las fortalezas y debilidades de un proyecto que pretende lograr una ventaja competitiva en el mercado meta con la implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección en la empresa Novem Honduras.

Tal como lo define (Baca Urbina, 2010) “El propósito que se persigue mediante el análisis de la oferta es determinar o medir las cantidades y las condiciones en que una economía puede y quiere poner a disposición del mercado un bien o un servicio. La oferta, al igual que la demanda, está en función de una serie de factores, como son los precios en el mercado del producto, los apoyos gubernamentales a la producción, etc.”

Tomando en consideración lo citado por parte de (Baca Urbina, 2010) se deben considerar para el análisis de la oferta, algunos indicadores importantes; como por ejemplo, el precio del producto, la disponibilidad que los proveedores puedan tener, sus tiempos de entrega y la tecnología utilizada y sus respectivos accesorios, sin dejar de lado un tema tan importante como el soporte técnico post venta; todo lo anterior con la finalidad de garantizar el buen funcionamiento del proyecto, una vez sea aprobado por la gerencia de proyectos.

Partiendo de la premisa en la que se establece que una empresa de calidad mundial hace uso de los mejores insumos que están disponibles en el mercado, se ha determinado que la oferta de Kistler Group será la oferta para el desarrollo de la implementación de un sensor de presión de cavidad en la empresa Novem Honduras, siendo esta la empresa encargada de proveer tanto al sensor de presión de cavidad, así como la respectiva interfaz de comunicación entre dicho sensor y la máquina de inyección, al igual que los consecuentes accesorios necesarios. Se opta por la empresa Kistler Group, luego de un análisis de potenciales suplidores y la búsqueda exhaustiva de información de empresas de clase mundial que ya tuviesen implementado un sistema como el que se busca implementar en Novem Honduras, encontrándose que la empresa en mención con oficinas centrales y planta de producción Suiza, cuenta con representaciones en México y Estados Unidos de América, siendo el líder indiscutible en la fabricación de equipos dedicados a la medición de presión de cavidad en la industria del moldeo por inyección, no solamente en el continente europeo, sino también en el continente americano.

### **8.1.3. Análisis de Precios**

Para la implementación del Nuevo sensor de presión de cavidad en la empresa Novem Honduras, se vuelve sumamente importante el respectivo análisis de precios de una manera rigurosa; evitando dejar fuera accesorios o elementos necesarios para su correcta implementación y respectivo desempeño.

Primeramente, como se detalló en el análisis de la oferta correspondiente a la sección 8.1.2 los proveedores se convierten en aliados estratégicos para el buen desarrollo del presente proyecto de implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección, posterior a la nominación de los respectivos proveedores, ya sean internos o externos; se analizan los precios a detalle con la finalidad de contar con un presupuesto realista y factible para la implementación de dicho proyecto.

A continuación, en la tabla 8.1.1 se detallan los costos del sensor de presión de cavidad, de la interfaz de comunicación y de un instrumento probador para labores de mantenimiento del equipo. Dichos elementos fueron cotizados por la empresa Kistler Group a través de su filial en los Estados Unidos de Norteamérica, de allí que los precios se detallan en dólares americanos (USD). Adicionalmente se cuenta con la cotización de un servicio de erosionado del acero del molde por parte de la empresa FSK Precision Manufacturing, este es requerido para incrustar el respectivo sensor de cavidad y hacer un pequeño vaciado donde se pueda colocar el cable de dicho sensor, sin que este sea dañado por aplastamiento al momento del armado/desarmado del molde de inyección.

Tabla 8.1.1 Precio cotizado Sensor de Presión

Ítem	Material/Description	Quantity	Price USD	Amount USD
100	<b>6157CAUMRSE1,5</b> Cavity pressure sensor Direct measuring, ø 4 mm Measuring range 0...2000 bar, UNISENS®	1 PC	\$1,650.00	\$1,650.00
	<b>With the following configuration:</b> Range of application Sensor Sensitivity Unisens®  Mounting nut Cable Type Sensor with Single- Wire Cable Connector 1839 for Single Wire Cable Version 1,5m Cable  CURRENCY: DOLLARS - USD WARRANTY: 12 MONTHS YEAR OF MANUFACTURE: 2021 MANUFACTURED BY: KISTLER SWITZERLAND DELIVERY: 6 WEEKS			
	<b>TOTAL AMOUNT</b>			<b>\$1,650.00</b>

Tabla 8.1.2 Precio cotizado Amplificador de Carga

Ítem	Material/Description	Quantity	Price USD	Amount USD
200	<b>5039A111</b> 1-Ch. Charge Amp. with selectable ranges Measuring Range: $\pm 50\ 000$ pC, $\pm 5\ 000$ pC Sensor Connection TNC. neg. Output Signal: $-10 \dots 10$ V IP65  CURRENCY: DOLLARS - USD WARRANTY: 12 MONTHS YEAR OF MANUFACTURE: 2021 MANUFACTURED BY: KISTLER SWITZERLAND DELIVERY: 6 WEEKS  <b>TOTAL AMOUNT</b>	1 PC	\$1,000.00	\$1,000.00
				<b>\$1,000.00</b>

Tabla 8.1.3 Precio cotizado Probador-Calibrador

Ítem	Material/Description	Quantity	Price USD	Amount USD
300	<b>5495B2</b> Sensor Tester with Accesory for 1 Channel Measurement CURRENCY: DOLLARS - USD WARRANTY: 12 MONTHS YEAR OF MANUFACTURE: 2021 MANUFACTURED BY: KISTLER SWITZERLAND DELIVERY: 6 WEEKS	1 PC	\$2,900.00	\$2,900.00
<b>TOTAL AMOUNT</b>				<b>\$2,900.00</b>




Tabla 8.1.4 Precio cotizado Erosión Cavidad de Molde

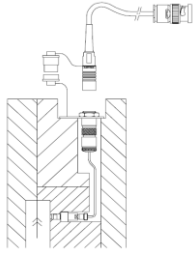
Ítem	Material/Description	Quantity	Price USD	Amount USD
400	<b>NCCGMCLE</b> Erode ø 4 mm Additionally milling 800mm For cable channel  CURRENCY: DOLLARS - USD WARRANTY: 6 MONTHS MANUFACTURED BY: FSK PRECISION DELIVERY: 1 WEEK	1 PC	\$450.00	\$450.00
<b>TOTAL AMOUNT</b>				<b>\$450.00</b>

### 8.1.3.1. Resumen de Precios

Con la finalidad de tener al alcance un rápido análisis de precio del proyecto de implementación de un sensor de cavidad para un molde de inyección de plástico, se tiene a bien hacer un breve resumen gráfico, los mismos se detallan en la tabla 8.1.5

Tabla 8.1.5 Tabla resumen de precios

Artículo	Imagen	Descripción	Precio (USD)
100		Sensor de presión de cavidad 6157 ø 4 mm para molde de inyección Marca Kistler	\$1,650.00
200		Amplificador de Carga 5039A111 de un solo canal con protección IP65 Marca Kistler	\$1000.00
300		Probador-calibrador de sensor de presión 5495B2 marca Kistler	\$450.00

400		Proceso de erosión de cavidad de molde para la incrustación del sensor de presión
<b>SUMA TOTAL</b>		<b>\$6,000.00</b>

### 8.1.3.2. Condiciones Contractuales

Para efectos de las condiciones contractuales de las ofertas recibidas tanto de Kistler Group como FSK Precision Manufacturing, se detallan los siguientes elementos:

**Validez de la oferta:** para efectos de la validez de las respectivas ofertas, se tiene una validez de 30 días calendario para cada una de ellas; por lo que se recomienda considerar un margen de entre el 5% y el 10% como valores aproximados con respecto a cambios de precio, ya sea por cambios en los precios de mercado o por devaluación monetaria.

**Forma de pago:** para el caso de la empresa Kistler Group, quien es un proveedor externo o internacional, las condiciones de pago son del 100% del valor por adelantado, es decir previo a despacho. La empresa FSK Precision Manufacturing por su parte ofrece la posibilidad de crédito a 30 días calendario previa autorización.

**Garantía:** para las respectivas garantías, la empresa Kistler Group ofrece un (1) año de garantía en desperfectos de fábrica en componentes electrónicos y por su parte la empresa FSK Precision Manufacturing ofrece seis (6) meses de garantía en los maquinados realizados.

**Tiempos de entrega:** con respecto a los tiempos de entrega, la compañía Kistler Group ofrece un tiempo de entrega de seis (6) semanas, una vez recibida la orden de compra (PO por sus siglas en inglés) mientras que FSK Precision Manufacturing, ofrece un tiempo de ejecución de los trabajos ofertados de una (1) semana calendario.

#### **8.1.4. Análisis de la Comercialización**

Como lo menciona (Baca Urbina, 2010): “La comercialización es la actividad que permite al productor hacer llegar un bien o servicio al consumidor con los beneficios de tiempo y lugar”.

El proyecto de implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección no se podrá comercializar como un producto o servicio en sí mismo, sin embargo, su comercialización será llevada a cabo por medio del producto manufacturado por la empresa Novem Honduras; que para el caso serían las piezas decorativas para los interiores de vehículos de lujo en el mercado internacional. Como consecuencia de la mejora en la calidad del producto, y la correspondiente baja en los costos de fabricación, se prevé una comercialización rápida y eficiente por medio de la satisfacción al cliente.

La implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección, se convierte en un elemento de alto impacto para la comercialización del producto manufacturado por la empresa Novem Honduras, ofreciendo un proceso de fabricación de piezas plásticas robusto y confiable; por lo que al tener una mejora significativa en la calidad del producto y en la optimización de los respectivos costos de fabricación, esto traerá en consecuencia un aumento en los márgenes de las utilidades provenientes de dicho producto; facilitando a los inversionistas y la alta gerencia el desarrollo de nuevas estrategias de venta que permitan a la empresa Novem Honduras extender su cartera de clientes y ampliar con ello su mercado.

A manera de conclusión con respecto al análisis de mercado, se puede concluir que la implementación de un sensor de presión de cavidad en el molde de inyección, vendrá a cubrir una necesidad no cubierta, se tienen costos aproximados al cuarto de millón de lempiras por mala calidad en el llenado; por lo que este proyecto es una opción que resulta no solamente viable, sino que además es un proyecto atractivo para la alta gerencia de la empresa Novem Honduras, que siempre busca la optimización de sus procesos y sobre todo la satisfacción del cliente final.

## 8.2. Estudio Técnico

En el presente apartado, se desarrollará todo el estudio técnico requerido o necesario para la implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección de plástico en la empresa Novem Honduras.

Siendo un apartado evidentemente de carácter técnico, se pretenden evaluar las especificaciones técnicas relativas al sensor de presión de cavidad y cada uno de los elementos involucrados en el proyecto.

### 8.2.1.1. Sensor de presión de cavidad

El sensor de presión de cavidad de cuarzo sin diafragma puede llegar a alcanzar lecturas de hasta 2000 bar de presión para aquellos modelos pensados para ser utilizados en la industria del moldeo por inyección de plástico; lo cual claramente nos dice que está diseñado para aplicaciones industriales; ya que, según sus especificaciones técnicas, puede llegar a trabajar con temperaturas de hasta 240°C.

El sensor de cuarzo Unisens para medición de presión de cavidad Tipo 6157 tiene un diámetro frontal de 4 mm, tal como lo muestra la figura 8.2.1; adicionalmente posee un sello tipo Oring que sella el espacio anular <math>10\ \mu\text{m}</math> entre el sensor y el orificio de montaje, por lo tanto, también alinea en el centro el sensor en el orificio del molde.

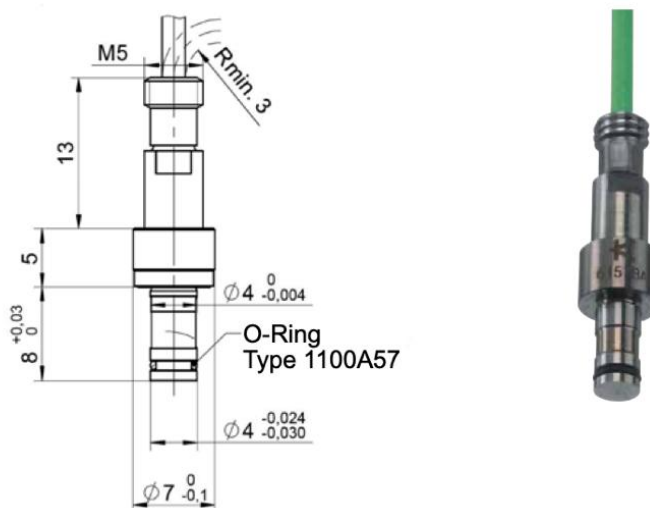


Figura 8.2.1 Sensor de presión de cavidad Unisens 6157

La presión ejercida por el plástico, actúa sobre todo el frente del sensor y esta se transmite al elemento de medición de cuarzo, como consecuencia se produce una carga eléctrica proporcional expresada en pC (pC = Picocolomb). Esto se convierte en un voltaje de 0 ... 10 V en el amplificador de carga y luego está disponible como salida de dicho amplificador.

Debido a los materiales utilizados para su construcción, todas las partes del sensor son resistentes a la corrosión. El cable intercambiable se atornilla al sensor con un sello hermético, también su conector es auto bloqueante y a prueba de filtraciones de agua.

### Technical data

Range	bar	0 ... 2 000
Overload	bar	2 500
Sensitivity	pC/bar	-9.4
Linearity, all ranges	% FSO	$\leq \pm 1$
Operating temperature range		
Mold (sensor, cable)		
Type 6157CA.../CC...	°C	200
Type 6157CB.../CD...	°C	300
Melt (at the front of the sensor)	°C	<450
Connector	°C	0 ... 200*
Insulation resistance		
at 20 °C	$\Omega$	$>10^{13}$
at 200 °C	$\Omega$	$>10^{12}$
at 300 °C	$\Omega$	$>10^{10}$

Figura 8.2.2 Características técnicas del sensor de presión 6157

Tal como se mencionó anteriormente, una de las ventajas técnicas de este tipo de sensor es la posibilidad de hacer uso de él en ambientes o procesos donde se requiere que el molde de inyección alcance altas temperatura de trabajo, como se muestra en la figura 8.2.2; lo cual lo hace altamente deseable para el proceso de inyección en la empresa Novem Honduras.

### 8.2.1.2. Amplificador de carga

El amplificador de carga en miniatura tipo 5039A tiene la función de convertir las señales de carga eléctrica producidas por el sensor de presión de cavidad de molde de inyección en un voltaje proporcional.



*Figura 8.2.3 Amplificador de carga Kistler 5039<sup>a</sup>*

Al igual que el sensor de presión de cavidad, el amplificador de carga también está diseñado para un uso del tipo industrial, toda la electrónica viene encapsulada en una robusta carcasa con una protección tipo IP-65, este tipo de modelo es de un solo canal de medición con dos rangos de medición conmutables; además de la salida del valor instantáneo, está también disponible una salida de su valor pico almacenado.

Citando a (Kistler Group, 2021) “El amplificador de carga en miniatura tiene un amplificador híbrido de retroalimentación negativa con una impedancia de entrada extremadamente alta en su etapa de entrada. Gracias a un circuito de entrada diferencial, las señales en modo común de hasta  $\pm 4$  V entre el estado bajo del Sensor y su respuesta de salida. La señal de tierra permanece sin efecto; ambos puntos del circuito están conectados únicamente a través de elementos RC. Una combinación de elementos RC adicional está conectada entre la señal de salida, la línea de tierra y la tierra de la carcasa del amplificador. Esto evita interferencias debido a una tierra de carcasa "flotante".

La señal de salida instantánea (Output) y el valor pico almacenado (Output Peak) están disponibles simultáneamente en conectores separados. El reinicio del valor pico se produce simultáneamente con el reinicio de la entrada del amplificador de carga. Una tensión de corriente continua no estabilizada de 18 ... 36 V es suficiente para el amplificador tipo 5039A, con una corriente requerida aproximadamente de 30 mA”

Este amplificador de carga está diseñado para trabajar en conjunto con cualquier sensor de presión del tipo piezoeléctrico, su diagrama esquemático se puede apreciar mejor en la figura 8.2.4 que se muestra a continuación.

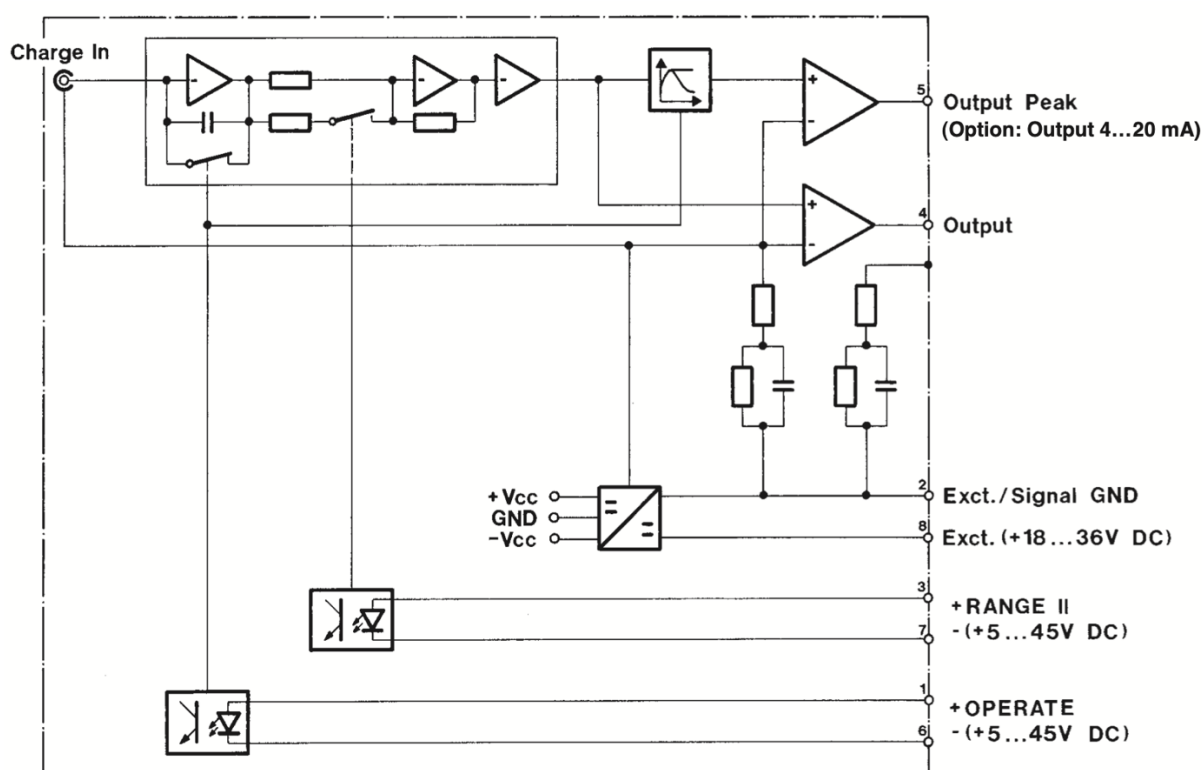


Figura 8.2.4 Diagrama esquemático del amplificador de carga

Se debe realizar una clara distinción en la tecnología de medición piezoeléctrica; es decir, entre las medidas cuasi estáticas y dinámicas. La mayoría de los amplificadores de carga admiten ambos tipos de medición, pero hay algunos amplificadores que solo permiten una de los dos tipos de medidas. Por esta razón, es de vital importancia tener una clara comprensión del tipo de medición que se debe utilizar para una medición específica.

El tipo de medición determina el comportamiento de la carga. Por ejemplo, cuando el amplificador está en su rango de frecuencia más bajo, está influenciado por una característica importante del amplificador de carga: nos referimos a la resistencia constante de tiempo o la constante de tiempo. La constante de tiempo determina la frecuencia o característica de paso alto del amplificador de carga, por lo que también determina el tipo de medición. Los datos técnicos del amplificador de carga se muestran en la figura 8.2.5

Technical data	Type	5039A...
<b>Number of channels</b>		1
<b>Number of measurement ranges</b>		2 (10:1, 4:1 or 2:1)
<b>Measurement range adjustment</b>		Fixed
Measurement ranges FS	pC	±5,000 ... 50,000
Frequency range (-3 dB)	kHz	≈0 ... 17
<b>Output signal</b>	V mA (option)	±10 4 ... 20
<b>Power supply</b>	VDC	18 ... 36
<b>Signal input</b>	Type/connector	Piezoelectric/acc. to choice BNC neg. TNC neg.
<b>Operating temperature range</b>	°C	0 ... 60
<b>Deg. of protection to IEC/EN 60529</b>		acc. to choice IP40 (BNC) IP65 (TNC)
<b>Other features</b>		According to choice: peak value output or current output Switch inputs electrically isolated
<b>Data sheet: see <a href="http://www.kistler.com">www.kistler.com</a></b>		<b>5039A (000-303)</b>

*Figura 8.2.5 Datos técnicos del amplificador de carga*

### 8.2.1.3. Calibrador – probador para el sensor de presión

Aunque no es un elemento imprescindible para la implementación del sensor de presión de cavidad en cuanto a su operatividad, el probador de sensor se convierte en un elemento altamente deseable, sobre todo para aquellas tareas de mantenimiento y resolución de fallas en este tipo de sensores piezoeléctricos de presión de cavidad; es utilizable tanto para medir la sensibilidad de aquellos sensores de presión de cavidad directa como indirecta; determinando la calidad de aislamiento. En la figura 8.2.6 se pueden observar los distintos elementos que se incluyen con dicho probador.



Figura 8.2.6 Probador de sensibilidad para sensores de presión

A continuación, se detallan los elementos mostrados en la figura 8.2.6:

1. Estuche con funda protectora
2. Probador de sensores (portátil)
3. Pin de prueba de presión
4. Antenas Bluetooth (2 unidades.)
5. Fuente de alimentación
6. Adaptador para pin de prueba de presión
7. Cable de conexión para conector de 4 canales
8. Cable de conexión para conector de 8 canales
9. Cable de extensión para Fischer-BNC
10. Dispositivo de memoria USB Kistler de 8 GB (manuales)
11. Cable para generación de carga

Con este probador de sensor de presión de cavidad se pretende monitorear los respectivos rangos de trabajo para estos sensores y proporcionar al departamento de mantenimiento de moldes, una herramienta más de trabajo que les ayude a solventar potenciales fallas en el proceso

productivo que puedan ser atribuidas al sensor de presión de cavidad; esto en respuesta a la debilidad ya detectada por el análisis FODA presentado en la sección 7.3 del presente proyecto de implementación de un sensor de presión de cavidad .

Al medir la sensibilidad, es necesario distinguir entre los sensores diseñados para medir directamente e indirectamente. Los sensores que miden directamente se colocan en la superficie de la cavidad y entran en contacto con el plástico que se derrite durante la medición. Por el contrario, los sensores que miden indirectamente se colocan en el exterior la cavidad, es decir, se colocan detrás de los pines pasadores de expulsión; es decir que no entran en contacto directo con el plástico fundido.

En la figura 8.2.7 se puede observar la pantalla principal de configuración del probador de sensor de presión de cavidad, donde se pueden seleccionar los distintos tipos de sensores y su respectiva sensibilidad teórica para que el dispositivo pueda realizar la respectiva comparación entre el valor teórico con el que el sensor de presión viene calibrado desde fábrica y la medición real del mismo.

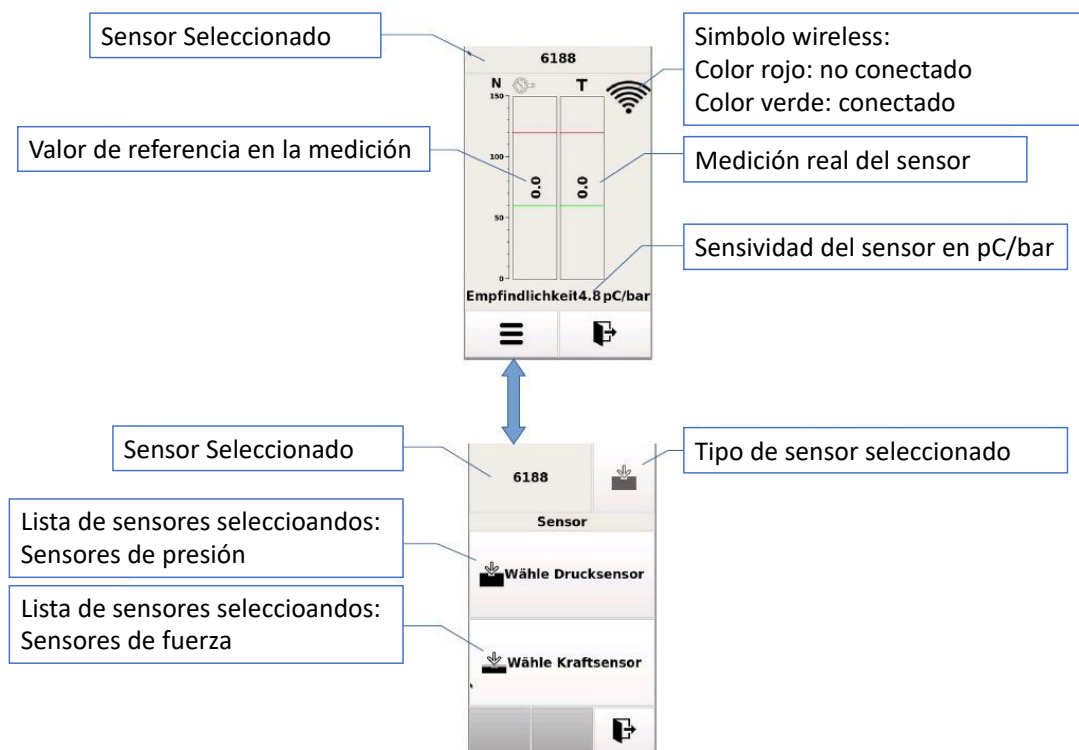


Figura 8.2.7 Pantalla principal de configuración del probador de sensor de presión

Adicionalmente se detallan los diferentes pasos a seguir para llevar a cabo el proceso de verificación, mismos que se detallan a continuación:

- Seleccione el tipo de sensor a medir
- Colocar el valor de nominal de sensibilidad (valor de fábrica)
- Iniciar el proceso de medición con el botón del pin de prueba
- Presionar el pin de prueba verticalmente sobre el sensor con una fuerza tan constante como sea posible
- Una pequeña vibración indica que se debe aplicar un poco más de presión
- Luego de terminada la medición, el instrumento hace la respectiva comparación entre el valor real medido y el valor de calibración de fábrica
- Finalmente, la pantalla nos mostrará tres (3) posibles resultados en unidades pC/bar de acuerdo con el resultado final (figura 8.2.8)

En la tabla 8.2.1 se muestran los porcentajes, rangos o tolerancias que juzgarán el resultado final de la medición.

*Tabla 8.2.1 Porcentajes de error en la sensibilidad*

<b>Posibles resultados de la medición del sensor de presión</b>			
<b>Evaluación</b>	Malo	Justo	Bueno
<b>Color</b>	Rojo	Amarillo	Verde
<b>Error en la sensibilidad</b>	>16%	8 - 16%	<8%

A continuación, en la figura 8.2.8 se muestran los tres (3) posibles resultados a obtener posteriores a la medición de la sensibilidad del sensor de presión de cavidad, dependiendo del porcentaje de la desviación obtenida según la tabla 8.2.1

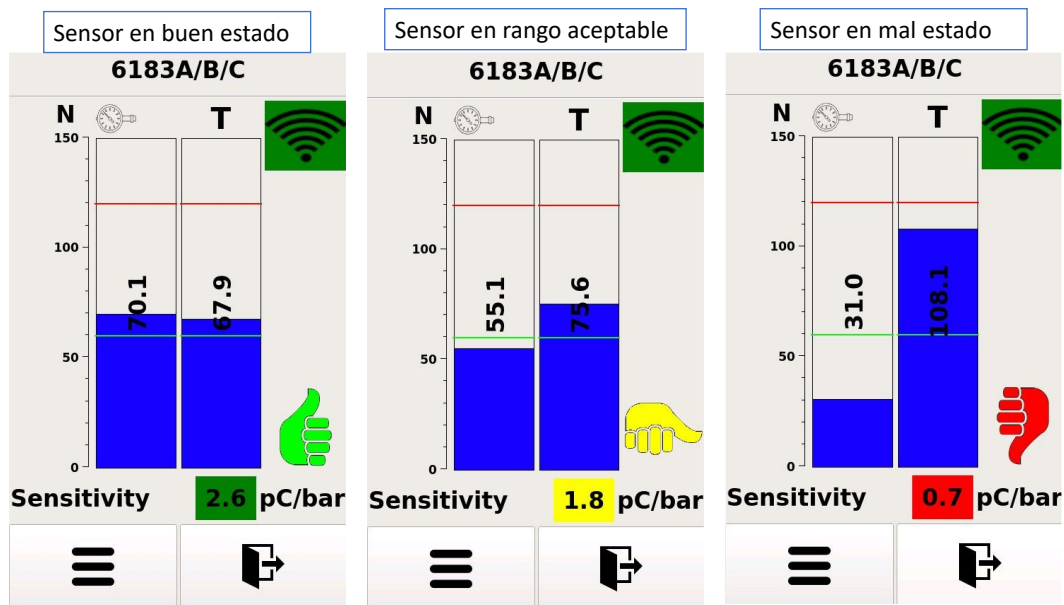


Figura 8.2.8 Resultado de las mediciones del sensor de presión

#### 8.2.1.4. Instalación del sensor de presión de cavidad

Dado que el sensor de presión de cavidad deberá ser incrustado en el molde de inyección de plástico, se deben considerar algunos aspectos importantes relativos a este tema. Esto tiene como propósito hacer más eficiente el mismo.



Figura 8.2.9 Montaje de sensor de presión de cavidad

Como parte de un aislamiento tanto térmico como un aislamiento estático para el sensor de presión de cavidad, y adicionalmente poder regular su altura, es necesario hacer uso de conectores que ayuden a dicho propósito (incluido con la compra del sensor de presión de cavidad) tal como se muestra en la figura 8.2.10 donde hace referencia a este tipo de adaptador.

Hay tres formas en que las variaciones de temperatura afectan la salida de un sensor de presión piezoeléctrico.

- Cambio de sensibilidad térmica
- Cambio térmico a cero
- Choque Térmico

Al medir la presión bajo temperaturas cambiantes es importante comprender los diferentes efectos para determinar qué efectos están actuando en la aplicación de uno y sus posibles mitigaciones.

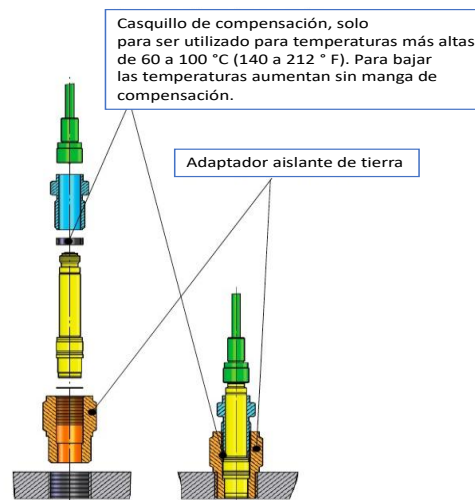


Figura 8.2.10 Adaptador aislado de tierra

“Las señales extrañas y el ruido en un sistema de medición pueden ser el resultado de bucles de tierra formados cuando los componentes del sistema (por ejemplo, sensor aislado sin tierra y el amplificador de carga) están conectados a tierra en dos puntos que tienen una diferencia de potencial entre ellos.” (Kistler Group, 2021)



*Figura 8.2.11 Sensor de presión de cavidad instalado*

#### **8.2.1.5. Habilitación en pantalla para uso del sensor de presión**

Dentro de este apartado, se describirá la forma en que la implementación del sensor de presión de cavidad se lleva a cabo mediante el software de la máquina de inyección; normalmente, habría que realizar una adaptación de software, sin embargo, Novem Honduras cuenta con máquinas de inyección de fabricación europea que ya incluyen dentro de su software la posibilidad de interactuar con este tipo de sensores de forma opcional; ya que no todos sus clientes hacen uso de esta tecnología debido a un tema de costos.

Como se muestra en la figura 8.2.12 en pantalla se permite la escogencia del criterio de llenado, la cual se encuentra actualmente en el modo de llenado dependiente del volumen.

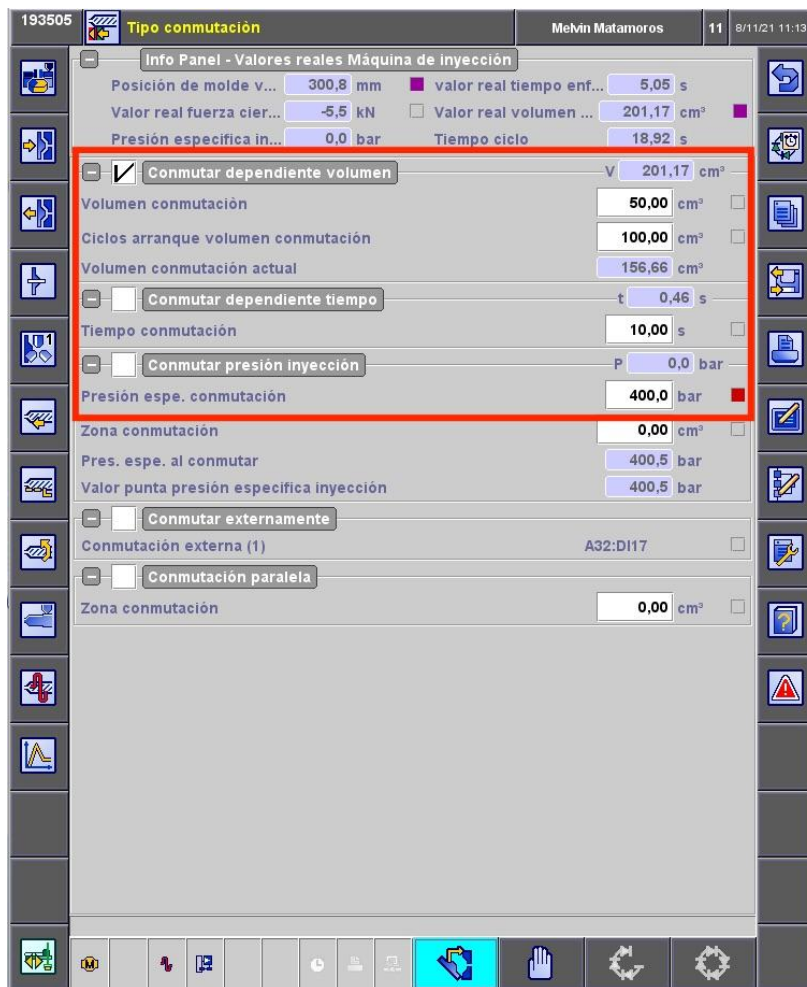


Figura 8.2.12 Criterios de llenado en pantalla de Inyectora

Para efectos del presente proyecto se hará uso del software CC200, el cual viene incluido de forma nativa dentro de la máquina de inyección marca Engel de fabricación Austriaca. Esta máquina permite el llenado de cavidad mediante al menos tres modos:

- Llenado por medio del volumen de plástico
- Llenado por medio del tiempo de inyección
- Llenado por medio de la presión de cavidad

Es con la tercera opción que se mejorará la estabilidad del llenado de cavidad, permitiendo mantener un control más eficiente del llenado de la cavidad por medio de la presión interna de la misma, pudiendo graficar esta presión como se muestra en la figura 8.2.13.

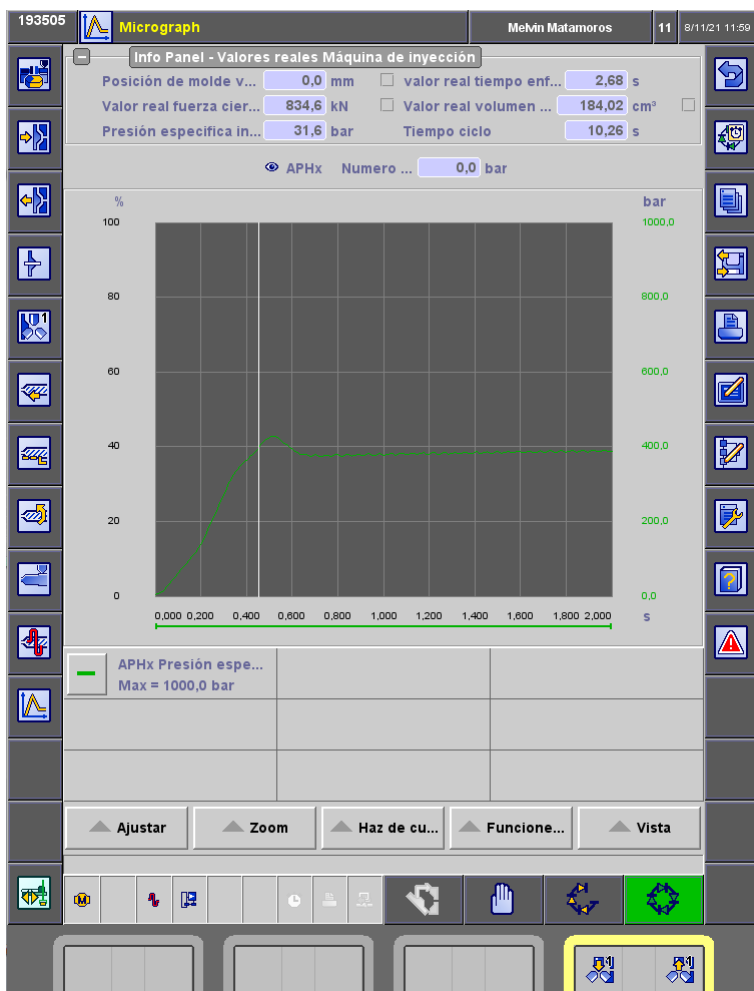


Figura 8.2.13 Gráfica en pantalla de presión de cavidad

### 8.2.2. Análisis y determinación de la localización óptima del proyecto

Se determina que la localización óptima del proyecto será en el área de inyección de plásticos, es decir el espacio designado para la ubicación de las diferentes máquinas de inyección de plástico bajo el área efectiva de la grúa puente; debido a que es en estas máquinas donde se hará la respectiva instalación tanto de la interfaz de comunicación, como del sensor de presión de cavidad para el molde de plástico.

La ubicación de las máquinas de inyección se encuentra en un área dentro del plantel de la fábrica ubicado en el km 23 del valle de Amateca en Francisco Morazán, la cual se puede apreciar en la figura 8.2.14.



Figura 8.2.14 Fotografía del área de Inyección

Adicionalmente, se puede observar la distribución de dichas máquinas de inyección bajo el área de la grúa; se cuenta con un área total efectiva de  $496.10\text{m}^2$  como lo muestra el layout de la figura 8.2.15, es en estas máquinas donde se hará la implementación del sensor de presión de cavidad para un molde de inyección de plástico; por lo tanto se vuelve relativamente fácil determinar que la mejor ubicación para este proyecto es precisamente dentro de las instalaciones destinadas para las máquinas de inyección de plástico.

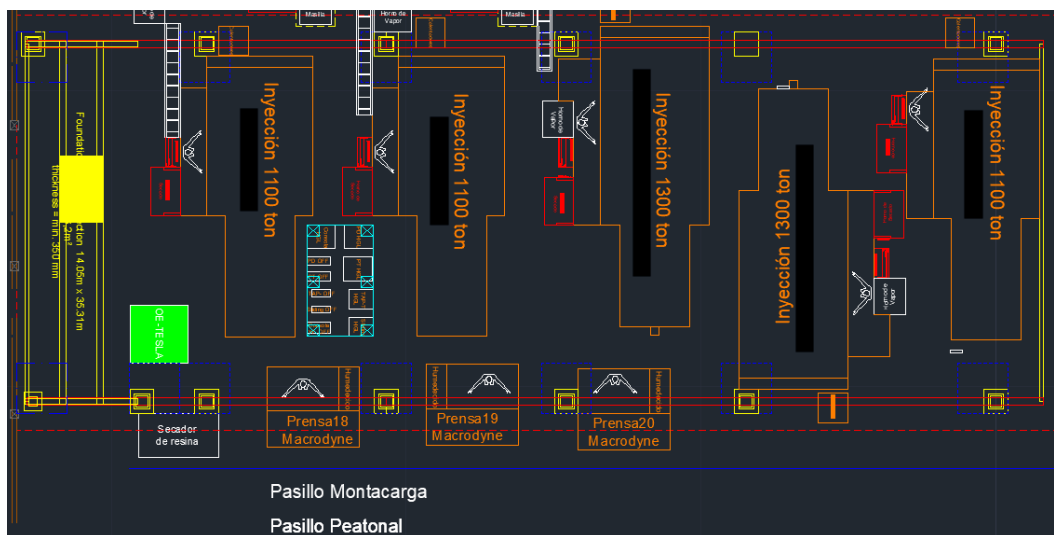


Figura 8.2.15 Layout área de Inyección

Aunque la ubicación del proyecto ha sido claramente establecida, se entiende que el presente proyecto, realmente tiene lugar dentro de las máquinas de inyección de plástico; donde el sensor de presión de cavidad será instalado, junto a la respectiva interfaz de comunicación entre el molde de inyección y la máquina de inyección de plástico.

### 8.2.3. Análisis y determinación del tamaño óptimo del proyecto

Como se detalló en la sección 8.2.2 del presente proyecto de investigación, el tamaño del proyecto será de 496.10m<sup>2</sup>, espacio bajo el cual estarán colocadas las máquinas de inyección y a su vez todos los elementos que conforman este proyecto de investigación para la implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección de plástico; sin embargo, para efectos de dejar un registro de las dimensiones de cada uno de los elementos, que conforman este proyecto, se detallan a continuación algunas dimensiones importantes, iniciando con la misma máquina de inyección hasta llegar al sensor de presión dentro del molde de inyección.

#### 8.2.3.1. Dimensiones máquina de inyección

Dimensiones y peso de una máquina de inyección.

*Tabla 8.2.2 Dimensiones y pesos de una máquina de inyección*

<b>Dimensiones y pesos máquina de inyección</b>	<b>Dimensiones en mm y pesos en kg</b>
Largo	6900 mm
Ancho	2405 mm
Alto	2625 mm
<b>Peso</b>	<b>(kg)</b>
Unidad de Inyección	6000 kg
Unidad de Cierre	14000 kg
Aceite hidráulico	800 kg
<b>TOTAL</b>	<b>20800 kg</b>

Como se puede apreciar en la tabla 8.2.2 la máquina de inyección es un equipo de gran envergadura en cuanto a su peso y dimensiones, estas características pueden variar de una máquina a otra en función de su capacidad de inyección; a continuación, se muestra su respectivo plano de cimentación donde se pueden observar todas sus respectivas cotas con mayor detalle.

Estas dimensiones toman especial importancia sobre todo al considerar el espacio total óptimo requerido para la implementación del proyecto de investigación.

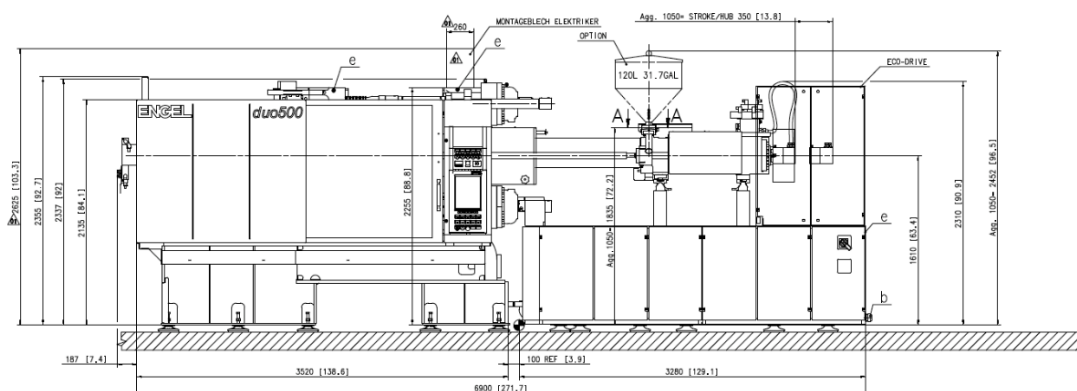


Figura 8.2.16 Dimensiones de una máquina de inyección

### 8.2.3.2. Dimensiones molde de inyección

Dimensiones y peso de un molde de inyección.

Tabla 8.2.3 Dimensiones y pesos de un molde de inyección

Dimensiones y pesos molde de inyección	Dimensiones en mm y pesos en kg
Largo	7450 mm
Ancho	4390 mm
Alto	9500 mm
Peso	1800 kg

Como se puede apreciar en la tabla 8.2.3 el molde de inyección es un equipo de gran peso, considerando sus dimensiones, estas características pueden variar de un molde a otro en función del tamaño del producto a ser inyectado; a continuación, se muestra su respectivo plano, donde se pueden observar mayores detalles.

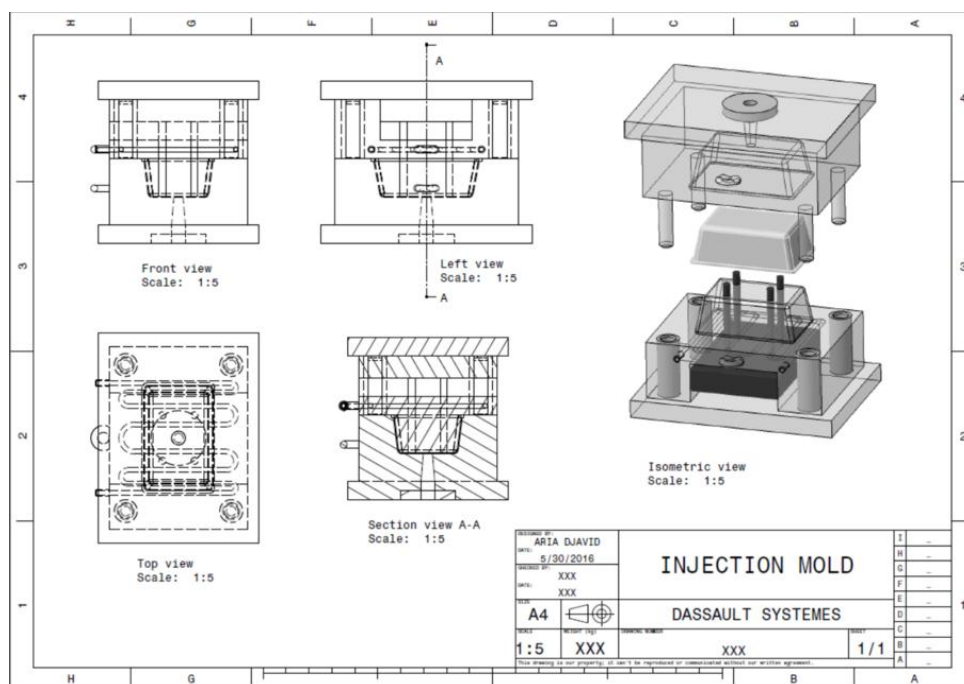


Figura 8.2.17 Dimensiones de un molde de inyección

### 8.2.3.3. Dimensiones interfaz de comunicación

Las dimensiones de la interfaz de comunicación se vuelven importantes para lograr identificar la mejor ubicación dentro de la máquina de inyección de plástico.

Tabla 8.2.4 Dimensiones y peso del amplificador de carga

Dimensiones y peso amplificador de carga	Dimensiones en mm y peso en kg
Largo	98 mm
Ancho	34 mm
Alto	64 mm
Peso	0.5 kg

El amplificador de carga, quien tendrá la función de servir como interfaz de comunicación entre el sensor de presión de cavidad y la máquina de inyección, es un dispositivo relativamente pequeño y de peso ligero, sin embargo, juega un papel determinante en el buen desempeño en

términos de comunicación, sus dimensiones pueden ser observadas en el dibujo que se muestra en la figura 8.2.18

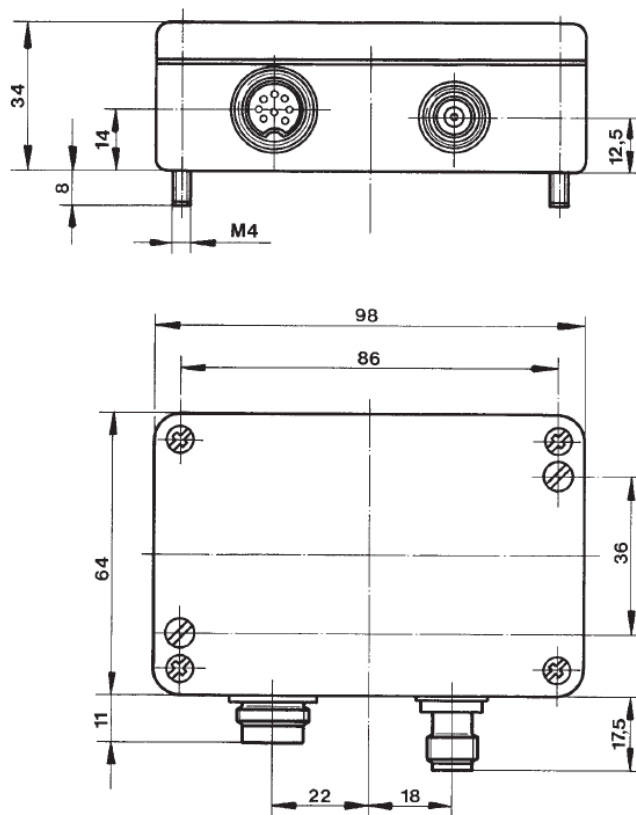


Figura 8.2.18 Dimensiones del amplificador de carga

#### 8.2.3.4. Dimensiones sensor de presión de cavidad

Las dimensiones del sensor de presión de cavidad se vuelven importantes para lograr identificar la mejor ubicación dentro del molde de inyección de plástico.

Tabla 8.2.5 Dimensiones y peso del sensor de presión de cavidad

Dimensiones y peso sensor de presión	Dimensiones en mm y peso en g
Largo	26.2 mm
Ancho	4.0 mm
Peso	30.5 g

El sensor de presión de cavidad es de muy bajo peso y de dimensiones relativamente pequeñas, sin embargo, estas dimensiones son de alta precisión, precisamente porque este sensor estará en contacto directo con la presión generada por el plástico al momento del llenado de la cavidad y al mismo tiempo será importante evitar las fugas de material producto de una mala medida en su instalación dentro del molde de inyección; es debido a estas medidas tan precisas, que se considera un proceso de erosión al molde y no simplemente un fresado tradicional.

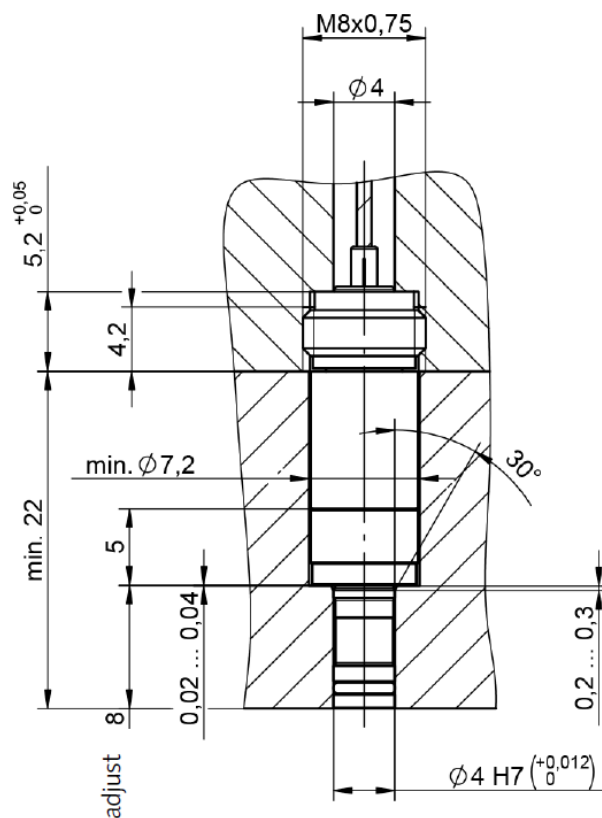


Figura 8.2.19 Dimensiones del sensor de presión

Las dimensiones pueden observarse en la figura 8.2.19, donde se da gran detalle de las mismas para asegurar el correcto sello al momento de su instalación dentro del molde de inyección de plástico.

#### 8.2.4. Análisis de la disponibilidad y el costo de los suministros e insumos

Todos los proveedores designados para el respectivo suministro de equipos o servicios para este proyecto de investigación han presentado las respectivas ofertas o cotizaciones; confirmado la disponibilidad inmediata de los mismos, así como definido los tiempos de entrega estimados para cada uno de los ítems.

A continuación, se presenta la tabla 8.2.6 donde se puede analizar la disponibilidad y el respectivo costo de los suministros e insumos necesarios para el buen desarrollo del presente proyecto; la intención es poder visualizar de una forma fácil indicadores como, por ejemplo, el tiempo de entrega estimado de cada ítem, su país de procedencia, y no menos importante su precio de adquisición.

*Tabla 8.2.6 Disponibilidad y costo de suministros e insumos*

<b>Proveedor</b>	<b>Disponibilidad</b>	<b>País de procedencia</b>	<b>Suministro / Insumo</b>	<b>Costo Suministro</b>	<b>Costo Insumo</b>
Kistler Group	6 semanas	Estados Unidos	Sensor de presión de cavidad	\$1,650.00	
Kistler Group	6 semanas	Estados Unidos	Amplificador de carga	\$1,000.00	
Kistler Group	6 semanas	Estados Unidos	Probador/ Calibrador para labores de mantenimiento.		\$2,900.00
FSK Precision Manufacturing	1 semana	Honduras	Erosión de cavidad e instalación de sensor		\$450.00

### **8.2.5. Identificación y descripción del proceso**

A continuación, se detalla el proceso a seguir para la implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección de plástico en la empresa Novem Honduras; presentando cada una de las actividades a desarrollar según el orden correspondiente de ejecución.

1. Estudio técnico
2. Estudio de localización
3. Verificación de software de máquina
4. Instalación de amplificador de carga
5. Proceso de erosión de cavidad de molde
6. Instalación de sensor de presión de cavidad
7. Calibración de sensor de presión de cavidad
8. Mediciones preliminares en máquina
9. Pruebas de comunicación y arranque
10. Puesta en marcha del proyecto.

Posteriormente a la realización de los estudios técnico y de localización del proyecto, se deben gestionar cada una de las actividades arriba descritas en su respectivo orden; adicionalmente, se deberá coordinar con el área de producción e ingeniería de proyectos, las respectivas corridas de prueba o funcionamiento del sensor de presión de cavidad con la finalidad de llevar a cabo las respectivas comprobaciones de campo en condiciones reales de producción y realizar los ajustes necesarios en caso de ser requerido.

A continuación, se presenta un diagrama de bloques que sirve para identificar y describir el proceso requerido para la implementación del respectivo sensor de presión de cavidad para un molde de inyección en la empresa Novem Honduras y a su vez lograr tener un panorama general de cada una de las actividades arriba descritas.



Figura 8.2.20 Diagrama de bloques del proceso de implementación

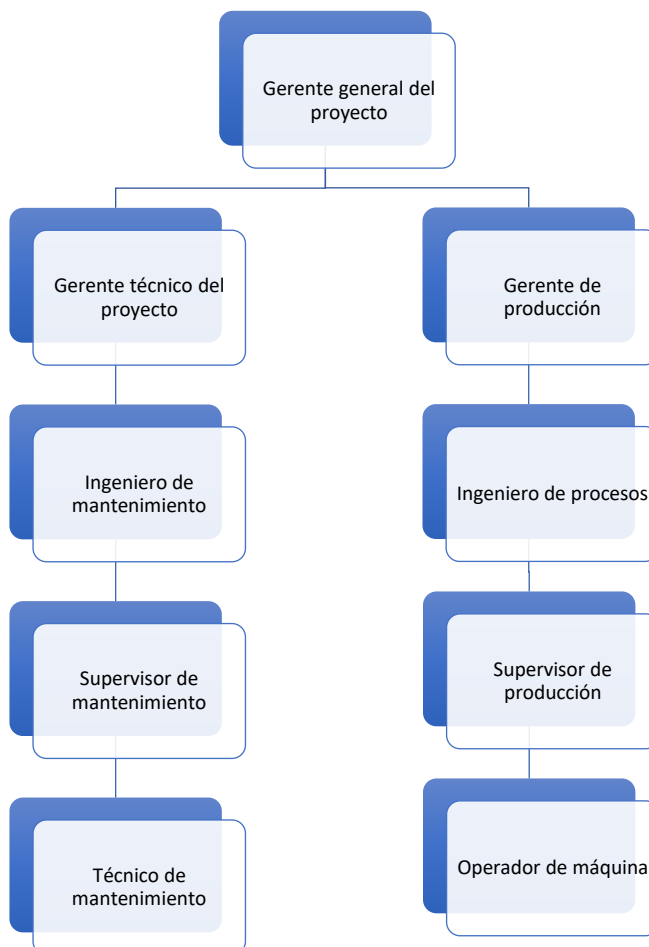
### 8.2.6. Determinación de la organización humana y jurídica que se requiere para la correcta operación del proyecto

A continuación, se presenta la determinación humana y jurídica que se requiere la implementación de un sensor de presión de cavidad en la empresa Novem Honduras; esto tiene como propósito hacer un uso eficiente de los recursos monetarios en material de organización humana y jurídica. Tal como lo menciona (Baca Urbina, 2010) “Desde el momento en que los recursos monetarios en un proyecto son escasos y se fijan objetivos por alcanzar, es necesario asignar esos recursos de la mejor manera, para optimizar su uso. Esta asignación práctica de recursos desde las etapas iniciales de una empresa sólo la hace un administrador eficiente.”

Por lo tanto, se vuelve imperativo el correcto análisis de la organización, sobre todo en las etapas iniciales del proyecto, donde no se pueden omitir algunos aspectos importantes para el desarrollo del mismo.

### 8.2.6.1. Organización humana

Para efectos de practicidad, la organización huma del proyecto puede desglosarse en un solo organigrama, el cual se muestra a continuación, en la figura 8.2.21



*Figura 8.2.21 Organización humana implementación sensor de presión*

Para efectos del presente proyecto de implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección, puede observar que para el desarrollo del mismo, se requiere de al menos unas nueve personas involucradas, ya sea de manera directa o indirecta, afortunadamente, la empresa Novem Honduras cuenta con una infraestructura de personal humano muy robusta, lo que permite hacer uso de estos recursos que ya forman parte de la empresa y no representa un costo adicional en términos de contratación de recurso humano.

### 8.2.6.2. Organización jurídica

Desde el punto de vista del marco legal, el presente proyecto de implementación de un sensor depresión de cavidad para un molde de inyección de plástico, no requiere de ningún tipo de permiso especial; es decir, no tiene impedimentos legales para poder ser ejecutado y funcionar según lo planteado en el presente informe.

Lo anterior está basado en el hecho de que el presente proyecto no representa ningún riesgo en materia de consumo de recursos no renovables; sino que, por el contrario representa una mejora en el impacto ambiental provocado por las piezas que son descartadas dentro del proceso productivo de la empresa Novem Honduras; misma que mediante tercerización hace uso de una empresa especializada en el manejo de desechos industriales (para efectos de este proyecto, nos referimos al plástico desechado en el proceso de inyección).

Por lo tanto, es imperativo acatar las disposiciones de las normas exigidas a través de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), por medio de la Ley General del Ambiente, amparada en el decreto No. 104-93 aprobada por el Congreso Nacional. Dando como resultado, no solamente una mejora desde el punto de vista productivo, sino que, adicionalmente representa una mejora en cuanto a la cantidad de kilogramos en concepto de desechos plásticos que este proceso productivo genera anualmente hacia el botadero municipal.

A continuación, se transcribe de manera fiel el decreto que hace referencia a lo anteriormente descrito por medio de la Ley General del Ambiente en su artículo No.9:

Poder Legislativo.

#### **DECRETO No. 104-93**

#### **DECRETA:**

*“ARTICULO 9 son objetivos de la presente ley:*

- a) Propiciar un marco adecuado que permita orientar las actividades agropecuarias, forestales e industriales hacia formas de explotación compatibles con la conservación y uso racional y sostenible de los recursos naturales y la protección del ambiente en general;*
- b) Establecer los mecanismos necesarios para el mantenimiento del equilibrio ecológico, permitiendo la conservación de los recursos, la preservación de la diversidad genética y el aprovechamiento racional de las especies y los recursos naturales renovables y no renovables;*

- c) Establecer los principios que orienten las actividades de la Administración Pública en materia ambiental, incluyendo los mecanismos de coordinación para una eficiente gestión;*
- ch) Implantar la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), para la ejecución de proyectos públicos o privados potencialmente contaminantes o degradantes;*
- d) Promover la participación de los ciudadanos en las actividades relacionadas con la protección, conservación, restauración y manejo adecuado del ambiente y de los recursos naturales;*
- e) Fomentar la educación e investigación ambiental para formar una conciencia ecológica en la población;*
- f) Elevar la calidad de vida de los pobladores, propiciando el mejoramiento del entorno en los asentamientos humanos; y,*
- g) Los demás compatibles con los objetivos anteriores". (SERNA, 2021)*

### **8.2.6.3. Resumen del estudio técnico**

Esta segunda parte del proyecto, demuestra que se tiene la capacidad técnica en cuanto al desarrollo e implementación del sensor de presión de cavidad para un molde de inyección de plástico; se concluye que no existe impedimento alguno para su implementación; ya que se cuenta con los recursos técnico y humanos necesarios para su buen desarrollo, derivando en una potencial mejora de la productividad de la actividad comercial realizada por la empresa Novem Honduras a través del proceso de inyección de plástico. La localización del proyecto fue determinada de manera satisfactoria y se desglosaron los costos monetarios y el respectivo tiempo de entrega y ejecución de cada aspecto que involucra dicho proyecto.

Dado lo anterior, se recomienda continuar con la tercera parte del estudio de factibilidad, es decir, su análisis económico, su respectiva evaluación en términos de rentabilidad financiera.

### **8.3. Estudio Económico**

El estudio económico es uno de los pilares fundamentales sobre los cuales descansa el proyecto de inversión, y es de vital importancia para el buen desarrollo del mismo, sobre todo porque se convierte en la herramienta que ayudará a presentar la rentabilidad del proyecto ante

potenciales inversionistas o personal de alta gerencia si es que nos referimos a una empresa, como lo es el caso de la presente investigación.

*“El estudio económico financiero conforma la tercera etapa de los proyectos de inversión, en el que figura de manera sistemática y ordenada la información de carácter monetario, en resultado a la investigación y análisis efectuado en la etapa anterior - Estudio Técnico-; que será de gran utilidad en la evaluación de la rentabilidad económica del proyecto. Este estudio en especial comprende el monto de los recursos económicos necesarios que implica la realización del proyecto previo a su puesta en marcha, así como la determinación del costo total requerido en su periodo de operación.” (Gomez, 2015)*

Este es el proceso a través del cual se analiza la rentabilidad económica de un proyecto, iniciando con la cuantificación de los recursos económicos disponibles; para efectos de la presente investigación, este apartado pretende determinar la rentabilidad de la implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección de plástico en la empresa Novem Honduras.

### **8.3.1. Costos de Producción y Operación**

El costo de producción (o costo de operación) se puede definir como el gasto requerido o necesario para fabricar un bien o ya sea para generar un servicio determinado; dicho de otra manera, son los gastos que involucran el sostenimiento de un proyecto.

En la implementación del sensor de presión de cavidad para un molde de inyección de plástico, se consideran como costos de producción, aquellos que son estrictamente necesarios para su funcionamiento, como por ejemplo la energía eléctrica, la mano de obra por concepto de mantenimiento del equipo y la mano de obra por concepto de operación de la máquina misma.

#### **8.3.1.1. Costos fijos**

Los costos fijos son aquellos costos que independientemente del nivel de ventas del bien o servicio, se debe mantener a lo largo de la vida del proyecto; la determinación de los costos fijos del proyecto de implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección de plástico se toma en base a los salarios del personal involucrado en el mismo.

Al ser empleados directos de la empresa, se toma como base el salario mensual de cada uno de ellos, tal como se detalla en la tabla 8.3.1

Tabla 8.3.1 Costos fijos

Descripción	Personal necesario	Días laborables	Costo unitario	Costo total
Salario Gerente Técnico de Proyectos	1	20	L. 35,000.00	L. 35,000.00
Salario Gerente de Producción	1	20	L. 25,000.00	L. 25,000.00
Salario Ingeniero de Mantenimiento	1	20	L. 22,000.00	L. 22,000.00
Salario Ingeniero de Procesos	1	20	L. 18,000.00	L. 18,000.00
Salario Supervisor de Mantenimiento	1	20	L. 17,000.00	L. 17,000.00
Salario Supervisor de Producción	1	20	L. 15,000.00	L. 15,000.00
Salario Técnico de Mantenimiento	2	24	L. 14,000.00	L. 28,000.00
Salario Operador de Máquina	2	24	L. 10,000.00	L. 20,000.00
<b>TOTAL</b>				<b>L. 180,000.00</b>

\*Todos los salarios detallados en la tabla 8.3.1 corresponden a costos aproximados de acuerdo con la tabla salarial promedio de la empresa.

### 8.3.1.2. Costos variables

Los costos variables son aquellos que son necesarios para producir un bien o servicio y dependerán en gran medida del volumen de producción requerido, de allí su variabilidad la tabla 8.3.2 se muestran los costos variables considerados para la implementación del presente proyecto. Para efectos del presente informe, se toma en cuenta únicamente la implementación del sensor de presión de cavidad en una sola máquina de inyección, siendo esta última, considerada como parte del proyecto piloto de implementación de esta nueva tecnología en el departamento de inyección de plásticos de la empresa Novem Honduras.

Tabla 8.3.2 Costos variables

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Energía eléctrica	1	L. 5,000.00	L. 5,000.00
Control de calidad	1	L. 15,000.00	L. 15,000.00
Mantenimiento	1	L. 30,000.00	L. 30,000.00

Costos de importación	1	L. 10,000.00	L. 10,000.00
Materia prima	1	L. 20,000.00	L. 20,000.00
Actividades subcontratadas	1	L. 10,000.00	L. 10,000.00
Otros	1	L. 5,000.00	L. 5,000.00
<b>TOTAL</b>			<b>L. 95,000.00</b>

Tanto los costos fijos, como los costos variables, se convierten en elementos de vital importancia para lograr hacer un buen análisis financiero del proyecto de implementación de un sensor de presión de cavidad en un molde de inyección de plástico, sobre todo para efectos del análisis de la inversión requerida.

### **8.3.1.3. Costos de operación**

Se entienden por costos de operación de la implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección de plástico, los que buscan realizar una serie de actividades relacionadas al mantenimiento del equipo suministrado o instalado; con la finalidad primordial de garantizar que el mismo continúe siendo eficiente a lo largo de los años en cada uno de los indicadores de desempeño para los cuales fue diseñado.

Los costos de operación del presente proyecto se reflejan en la tabla 8.3.3 donde se consideran los costos de mantenimiento del equipo suministrado para la implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección de plástico. Estos costos están proyectados a cinco años incluidos los incrementos por inflación y son de vital importancia para posteriormente lograr tener un panorama claro para los inversionistas y altos ejecutivos dentro de la empresa Novem Honduras.

Tabla 8.3.3 Costos de Operación

Descripción	Primer año	Segundo año	Tercer año	Cuarto año	Quinto año
Mantenimiento anual molde de inyección	\$ 2,500.00	\$ 2,600.00	\$ 2,704.00	\$ 2,812.16	\$ 2,924.65
Mantenimiento anual máquina de inyección	\$ 5,000.00	\$ 5,200.00	\$ 5,408.00	\$ 5,624.32	\$ 5,849.29
Mantenimiento anual equipo de medición	\$ 1,000.00	\$ 1,040.00	\$ 1,081.60	\$ 1,124.86	\$ 1,169.86
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 8,500.00</b>	<b>\$ 8,840.00</b>	<b>\$ 9,193.60</b>	<b>\$ 9,561.34</b>	<b>\$ 9,943.80</b>

Para efectos del mantenimiento del equipo involucrado en la implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección de plástico, se consideró una tasa de inflación interanual del 4.0%, con una variación del 0.01% para los años posteriores al 2021, tomando como fuente de información la tabla de inflación interanual proporcionada por el Banco Central de Honduras (BCH) a través de su página web oficial de internet para este rubro.

### 8.3.2. Inversión total inicial

Comenzaremos este apartado, citando la definición de inversión inicial, con la finalidad primordial de establecer un criterio claro con respecto a la inversión inicial.

*“La inversión inicial comprende la adquisición de todos los activos fijos o tangibles y diferidos o intangibles necesarios para iniciar las operaciones de la empresa, con excepción del capital de trabajo.”* (Baca Urbina, 2010)

En este apartado se detalla la inversión inicial necesaria para la implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección de plástico, en la empresa Novem Honduras. A continuación, en la tabla 8.3.4 se presenta el resumen de cada uno de los equipos y suministros necesarios para dicha implementación.

Tabla 8.3.4 Inversión inicial

<b>Artículo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio total en USD</b>
Kistler Group	Sensor de presión de cavidad	\$1,650.00
Kistler Group	Amplificador de carga	\$1,000.00
Kistler Group	Probador/ Calibrador para labores de mantenimiento.	\$2,900.00
FSK Precision Manufacturing	Erosión de cavidad e instalación de sensor	\$450.00
<b>TOTAL</b>		<b>\$6,000.00</b>

En la tabla 8.3.4 se presentan los valores requeridos como inversión inicial para la implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección en la empresa Novem Honduras, misma que asciende a \$6,000.00 para una sola máquina, sin embargo, se pretende implementar este sistema en las diez máquinas en funcionamiento; por lo cual la inversión total sería de \$60,000.00 (USD)

### **8.3.3. Punto de Equilibrio**

Es en el punto de equilibrio donde el cálculo de los costos fijos y de los costos variables en la sección 8.3.1.1 y 8.3.1.2 respectivamente toman valor de importancia; ya que se conoce que el punto de equilibrio se calcula cuando el volumen de venta de un bien o servicio es igual a la suma de los costos fijos más los costos variables. Es también importante mencionar que para su cálculo no se considera el valor de la inversión inicial, por lo cual no se le puede considerar como una herramienta de evaluación económica, sino más bien una referencia comparativa entre los costos fijos, los costos variables y los ingresos.

Para efectos de cálculo, recordaremos que según el apartado 8.3.1.1 y 8.3.1.2 correspondientes a los costos fijos y los costos variables respectivamente, pueden ser resumidos en la tabla 8.3.5 que se presenta a continuación.

*Tabla 8.3.5 Resumen Costos Fijos y Variables*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Costos fijos del proyecto	L. 180,000.0
Costos variables del proyecto	L. 95,000.00
<b>TOTAL</b>	<b>L. 275,000.00</b>

De acuerdo a (Baca Urbina, 2010) el punto de equilibrio puede ser calculado tal y como se muestra en la ecuación 8.3.1

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{CF}{1 - \left(\frac{CV}{P*Q}\right)} \quad (8.3.1)$$

*Donde:*

*CF = costo fijo total*

*CV = costo variable total*

*P\*Q = volumen de venta*

*Ecuación 8.3.1 Formula del punto de equilibrio*

Para efectos del presente informe, se detallan los ahorros proyectados en la tabla 8.3.5 considerando el desecho promedio mensual (dinero en concepto de piezas defectuosas) con un escenario conservador de un 50% de mejora con la implementación del sensor de presión de cavidad.

*Tabla 8.3.6 Estimación de ahorro*

<b>Costo promedio mensual por desechos</b>	<b>Porcentaje proyectado de mejora</b>	<b>Ahorro mensual proyectado</b>	<b>Ahorro anual proyectado</b>
L. 45,000.00	50%	L. 22.500.00	L. 270,000.00

La reducción proyectada por mejora en el proceso de llenado de cavidad se estima en L.22,500 mensuales, con lo cual ya se puede calcular el punto de equilibrio de este proyecto.

De acuerdo con la tabla 8.3.7, se puede proyectar un punto de equilibrio de aproximadamente un año, para una sola máquina y de aproximadamente 5.5 años para las diez máquinas.

*Tabla 8.3.7 Punto de equilibrio*

<b>Año 0</b>	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
<b>L. 275,000.00</b>	L. 270,000.00	L. 540,000.00	L. 810,000.00	L. 1,080,000.00	L. 1,350,000.00

El punto de equilibrio de la implementación de un sensor de presión de cavidad para un molde de inyección de plástico, tomando en consideración el ahorro proyectado anual, tiene un punto de equilibrio de apenas un año, es decir, un punto de equilibrio bastante rápido en términos de recuperación y con valores positivos a partir del segundo año.

### **8.3.3.1. Flujo de caja**

El flujo de caja consiste en el registro de todos los ingresos y egresos posibles de un proyecto a lo largo del tiempo. Este flujo se puede proyectar para efectos de la evaluación de la viabilidad de un proyecto. Estos ingresos, por ejemplo, podrían ser únicos o recurrentes, mientras que los egresos ayudan a determinar en qué momento se utilizaron los recursos invertidos en el proyecto.

*Tabla 8.3.8 Flujo de caja*

<b>Ingresos</b>					
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
<b>Total de ingresos</b>	L. 270,000.00	L. 540,000.00	L. 810,000.00	L. 1,080,000.00	L. 1,350,000.00
	L. 270,000.00	L. 540,000.00	L. 810,000.00	L. 1,080,000.00	L. 1,350,000.00

---

<b>Egresos</b>	
Gastos operativos primer año	L. 208, 250.00
Costos fijos	L. 180,000.00
Costos variables	L. 95,000.00
<b>Total egresos</b>	<b>L. 483,250.00</b>

---

La tabla 8.3.8 muestra los egresos e ingresos, se toma en consideración los ingresos partiendo del primer año hasta llegar al año 5, aunque es en el primer año donde se recupera la inversión inicial del proyecto, de igual manera se toman en cuenta los egresos que corresponde los egresos operativos, fijos y variables.

#### **8.3.4. TIR (Tasa Interna de Retorno)**

Para el respectivo cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) será de mucha utilidad tanto el flujo de caja como el dato de inversión inicial; ya que con ellos será posible determinar la rentabilidad del proyecto, tal como lo muestra la tabla 8.3.9 a continuación detallada:

*Tabla 8.3.9 Cálculo de la TIR y VAN*

Año	Flujo de efectivo neto
0	L. -1,470,000.00
1	L. 270,000.00
2	L. 540,000.00
3	L. 810,000.00
4	L. 1,080,000.00
5	L. 1,350,000.00
TIR	34%
VAN	L. 994,370.44

Se puede observar en la tabla 8.3.9 que el valor de la TIR arroja un valor del 34%, lo cual es sumamente bueno, considerando que la compañía tiene un porcentaje meta del 15% lo cual es un indicativo de que el proyecto de implementación de un sensor de cavidad para un molde de inyección de plástico genera beneficios a la empresa.

## **8.4.Creación de Prototipo**

La creación del presente prototipo tiene como propósito mejorar o robustecer el proceso de llenado de cavidad en el molde de inyección dentro de la empresa Novem Honduras, específicamente busca reducir el impacto negativo generado por las piezas incompletas o mal inyectadas; ya que en la actualidad el proceso de llenado de cavidad no es un proceso capaz de mantener dicho llenado de una manera óptima y/o consistente a lo largo del tiempo. Esta variación en el proceso afecta de manera directa no solamente la calidad del producto, si no que a su vez representa un alza no controlada en los costos asociados a la manufactura del producto.

Para la creación del presente prototipo, fue necesario asistirse de dos sistemas de simulación; el primero es NI Multisim 14.0 un reconocido simulador de circuitos electrónicos que permite lograr una representación gráfica del circuito electrónico y su respectivo funcionamiento; que, para efectos del presente prototipo servirá para evaluar el funcionamiento del amplificador de carga que fue descrito en la sección 8.21.2 del presente informe.

El segundo programa a utilizar es VirtMould de la compañía Engel Global, este software de simulación hace posible representar la parte operacional del proyecto, es decir, permite simular el funcionamiento de la máquina de inyección de plástico y con ello virtualizar el efecto del sensor de presión de cavidad; ya que este simulador representa de manera fiel el control incluido en la máquina de inyección de plástico, mismo que es llamado “control CC200” por parte del fabricante de la máquina de inyección.

Con la ayuda de los simuladores previamente descritos, se podrá comprobar todo el funcionamiento y operación del nuevo sistema de llenado de cavidad por medio del sensor de presión de cavidad y su respectivo amplificador de carga. Cabe también mencionar que todo el material que compone el presente prototipo será proporcionado a la empresa Novem Honduras para ser archivado y pueda ser posteriormente consultado al momento de su implementación.

### **8.4.1. Prototipo de funcionamiento operacional**

El prototipo operacional propuesto se puede apreciar en la figura 8.4.1 donde se pueden visualizar algunas de las pantallas virtualizadas de la máquina de inyección en la que se pretende hacer la implementación de este proyecto sobre todo de las opciones de llenado con las que cuenta el software CC200 de la compañía ENGEL GLOBAL y por supuesto el sistema de gráficos.

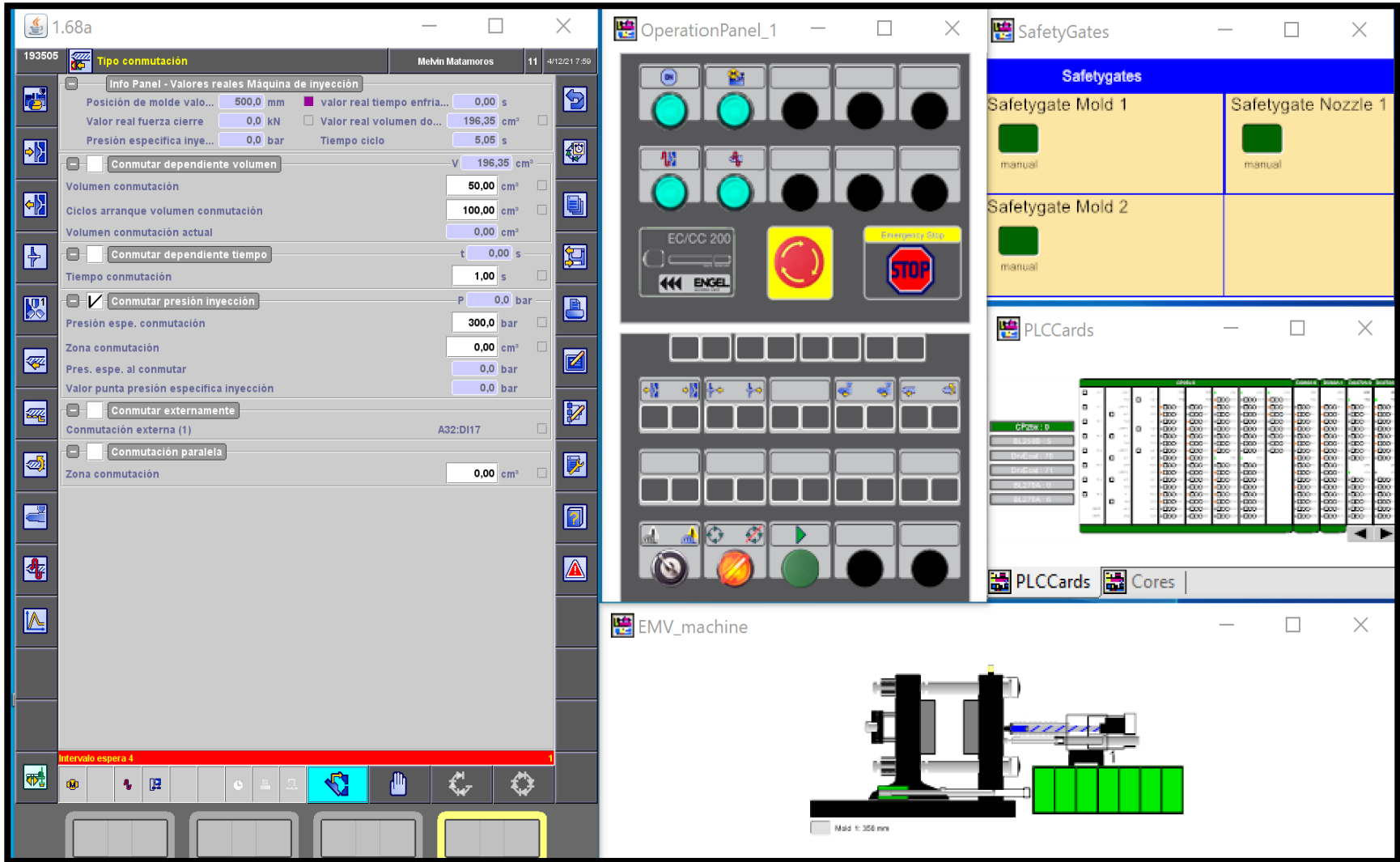


Figura 8.4.1 Representación gráfica de la simulación operacional

El prototipo operacional mostrado en la figura 8.4.1 fue realizado con el software VirtMould y representa la máquina de inyección de plástico y la interacción con el sensor de presión de cavidad; para una mejor comprensión del prototipo operacional explicaremos de una forma muy resumida su funcionamiento.

En el bloque del lado izquierdo, representa la pantalla de la máquina de inyección de plástico y cada uno de los parámetros de la misma; hay dos barras de fondo color gris a los costados que permiten elegir en cada recuadro el grupo de parámetros deseados, para el caso de la máquina real, esta pantalla es de tipo táctil y facilita mucho el acceso a cada uno de las opciones de funcionamiento de la máquina de inyección, como por ejemplo los parámetros de llenado, fuerzas de cierre, presión de inyección, temperaturas de procesamiento entre otros.

El bloque central superior representa el panel de control de la máquina de inyección, es decir, la botonera y selectores que permiten operar la máquina de inyección y accionar los respectivos movimientos en modo manual y poner la misma a funcionar de modo automático. Adicionalmente es en este mismo bloque donde se encuentran las opciones de encendido y apagado del sistema de calefacción de molde y de la unidad de inyección, así como el encendido y apagado del motor eléctrico de la máquina.

El bloque del lado derecho muestra las opciones de apertura y cierre de las compuertas de seguridad de la máquina de inyección, mismas que simulan la parte de seguridad de la misma; por otra parte, también se tiene acceso a las señales de entradas y salidas de la computadora industrial de la máquina o PLC por sus siglas en inglés; esto resulta especialmente útil para poder verificar las distintas señales de entradas y salidas durante el funcionamiento en automático de la máquina, permitiendo así el diagnóstico efectivo en busca de potenciales fallas en el funcionamiento de la misma.

En el bloque inferior derecho se tiene una representación virtual de la máquina de inyección en sí misma, es decir, es aquí donde se puede ver la simulación de los distintos movimientos realizados por la máquina de inyección en respuesta a la configuración realizada en el panel de control y la parametrización de las variables de proceso elegidas en pantalla.

#### 8.4.2. Prototipo funcionamiento electrónico

A continuación, el prototipo electrónico propuesto realizado en NI Multisim 14.0 se puede apreciar en la figura 8.4.2 donde se puede apreciar la configuración electrónica definida para lograr representar el amplificador de carga y sus respectivas señales de entrada y salida. El prototipo electrónico mostrado en la figura 8.4.2 fue realizado con el software Multisim 14.0 y representa la interfaz entre la máquina de inyección de plástico y el sensor de presión de cavidad sugerido como una opción factible de mejora en cuanto al llenado preciso de cavidad; representa la interacción electrónica entre el sensor de presión de cavidad y la máquina de inyección; para una mejor comprensión del prototipo electrónico, explicaremos de una forma muy resumida su funcionamiento.

Como se ha definido previamente, el sensor de presión de cavidad tiene como salida pequeñas señales de carga, sin embargo, para efectos de la presente simulación, puede ser simulado por una pequeña fuente de corriente representada en el circuito por  $I_1$  y una resistencia en serie que simula la resistencia del cable utilizado; adicionalmente se hace uso de un amplificador operacional LM358JG en paralelo con un capacitor de  $100\mu\text{F}$  y una resistencia de retroalimentación de  $500\Omega$  para convertir esta pequeña señal de corriente en una señal de voltaje, sin embargo, esta señal de voltaje de salida es negativa; por lo que se decide hacer uso de un segundo amplificador operacional y una resistencia limitadora con la intención de tener una señal de salida controlada de  $+10\text{V}$  y sirva esta como señal de entrada análoga hacia la computadora industrial de la máquina de inyección o PLC.

Esta simulación tiene la finalidad de conceptualizar el funcionamiento del amplificador de carga previo a su implementación final; aclarando que el prototipo representa de manera muy básica el funcionamiento del amplificador de la marca Kistler que será adquirido; mismo que cuenta con más funcionalidades que lo hacen una mejor opción en cuanto a su desempeño, funcionalidades que fueron ampliamente descritas en el apartado 8.2.1.2 del presente informe.

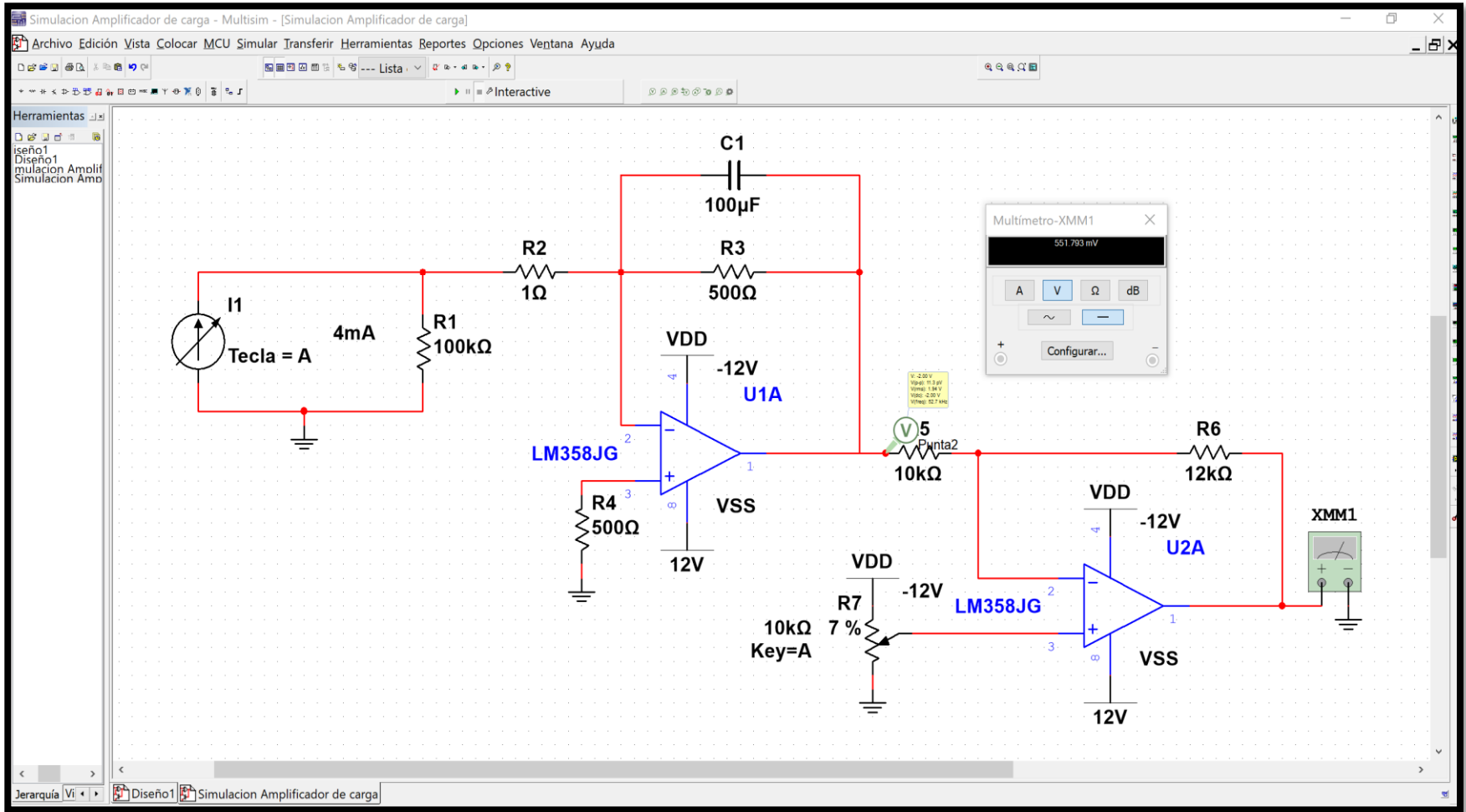


Figura 8.4.2 Prototipo del amplificador de carga

El prototipo electrónico mostrado en la figura 8.4.2 es complementado con un algoritmo previamente cargado en la secuencia lógica de la máquina de inyección, teniendo como base la sensibilidad del sensor, misma que hace referencia a la calibración con la que el sensor sale de fábrica, tal como se muestra en la figura 8.4.3 que nos ayudará a tener una mejor comprensión de cómo funciona.



Figura 8.4.3 Placa de sensibilidad de sensor de presión

Tal como se puede apreciar en la figura 8.4.3 desde la fábrica se le otorga un valor de sensibilidad al sensor de presión, es decir la equivalencia proporcional en cuanto a la señal de salida en términos de carga de corriente y la presión expresada en unidades físicas, que para efectos de la imagen se establece en  $-9,4\text{pC}/\text{bar}$ , es decir, que por cada  $9.4\text{pC}$  de salida del sensor, la máquina de inyección deberá interpretar un bar de presión aplicado, esta sensibilidad puede ser corroborado mediante el probador que fue detallado en la sección 8.2.1.3 del presente informe.

Como parte del prototipo y como una ayuda a la comprensión de su funcionamiento, se presenta a continuación en la tabla 8.4.1 una serie de valores tanto de entrada de carga (proveniente del sensor de presión de cavidad) así como de su respectiva salida proporcional (en términos de voltaje positivo), basados en la calibración del sensor de presión mostrado en la figura 8.4.3 y tomando como referencia un amplificador del tipo I, es decir, con una lectura de entrada de hasta  $20,000$  pico coulomb (pC).

Tabla 8.4.1 Tabla de equivalencias entre señal de carga, voltaje y presión

<b>TABLA DE EQUIVALENCIAS ENTRE SEÑAL DE CARGA, PRESIÓN ESPECÍFICA Y VOLTAJE DE SALIDA DEL AMPLIFICADOR DE CARGA</b>			
<b>pC/bar</b>	<b>bar</b>	<b>V</b>	<b>mV</b>
-9.4	1.00	0.0047	4.70
-200	21.28	0.1000	100.00
-400	42.55	0.2000	200.00
-600	63.83	0.3000	300.00
-800	85.11	0.4000	400.00
-1000	106.38	0.5000	500.00
-1200	127.66	0.6000	600.00
-1400	148.94	0.7000	700.00
-1600	170.21	0.8000	800.00
-1800	191.49	0.9000	900.00
-2000	212.77	1.0000	1000.00
-2200	234.04	1.1000	1100.00
-2400	255.32	1.2000	1200.00
-2600	276.60	1.3000	1300.00
-2800	297.87	1.4000	1400.00
-3000	319.15	1.5000	1500.00
-3200	340.43	1.6000	1600.00
-3400	361.70	1.7000	1700.00
-3600	382.98	1.8000	1800.00
-3800	404.26	1.9000	1900.00
-4000	425.53	2.0000	2000.00
-4200	446.81	2.1000	2100.00
-4400	468.09	2.2000	2200.00
-4600	489.36	2.3000	2300.00
-4800	510.64	2.4000	2400.00
-5000	531.91	2.5000	2500.00
-5200	553.19	2.6000	2600.00
-5400	574.47	2.7000	2700.00
-5600	595.74	2.8000	2800.00
-5800	617.02	2.9000	2900.00
-6000	638.30	3.0000	3000.00
-6200	659.57	3.1000	3100.00
-6400	680.85	3.2000	3200.00
-6600	702.13	3.3000	3300.00
-6800	723.40	3.4000	3400.00

---

-7000	744.68	3.5000	3500.00
-7200	765.96	3.6000	3600.00
-7400	787.23	3.7000	3700.00
-7600	808.51	3.8000	3800.00
-7800	829.79	3.9000	3900.00
-8000	851.06	4.0000	4000.00
-8200	872.34	4.1000	4100.00
-8400	893.62	4.2000	4200.00
-8600	914.89	4.3000	4300.00
-8800	936.17	4.4000	4400.00
-9000	957.45	4.5000	4500.00
-9200	978.72	4.6000	4600.00
-9400	1000.00	4.7000	4700.00
-9600	1021.28	4.8000	4800.00
-9800	1042.55	4.9000	4900.00
-10000	1063.83	5.0000	5000.00
-10200	1085.11	5.1000	5100.00
-10400	1106.38	5.2000	5200.00
-10600	1127.66	5.3000	5300.00
-10800	1148.94	5.4000	5400.00
-11000	1170.21	5.5000	5500.00
-11200	1191.49	5.6000	5600.00
-11400	1212.77	5.7000	5700.00
-11600	1234.04	5.8000	5800.00
-11800	1255.32	5.9000	5900.00
-12000	1276.60	6.0000	6000.00
-12200	1297.87	6.1000	6100.00
-12400	1319.15	6.2000	6200.00
-12600	1340.43	6.3000	6300.00
-12800	1361.70	6.4000	6400.00
-13000	1382.98	6.5000	6500.00
-13200	1404.26	6.6000	6600.00
-13400	1425.53	6.7000	6700.00
-13600	1446.81	6.8000	6800.00
-13800	1468.09	6.9000	6900.00
-14000	1489.36	7.0000	7000.00
-14200	1510.64	7.1000	7100.00
-14400	1531.91	7.2000	7200.00
-14600	1553.19	7.3000	7300.00
-14800	1574.47	7.4000	7400.00
-15000	1595.74	7.5000	7500.00
-15200	1617.02	7.6000	7600.00

---

-15400	1638.30	7.7000	7700.00
-15600	1659.57	7.8000	7800.00
-15800	1680.85	7.9000	7900.00
-16000	1702.13	8.0000	8000.00
-16200	1723.40	8.1000	8100.00
-16400	1744.68	8.2000	8200.00
-16600	1765.96	8.3000	8300.00
-16800	1787.23	8.4000	8400.00
-17000	1808.51	8.5000	8500.00
-17200	1829.79	8.6000	8600.00
-17400	1851.06	8.7000	8700.00
-17600	1872.34	8.8000	8800.00
-17800	1893.62	8.9000	8900.00
-18000	1914.89	9.0000	9000.00
-18200	1936.17	9.1000	9100.00
-18400	1957.45	9.2000	9200.00
-18600	1978.72	9.3000	9300.00
-18800	2000.00	9.4000	9400.00
-19000	2021.28	9.5000	9500.00
-19200	2042.55	9.6000	9600.00
-19400	2063.83	9.7000	9700.00
-19600	2085.11	9.8000	9800.00
-19800	2106.38	9.9000	9900.00
-20000	2127.66	10.0000	10000.00

Tal como puede ser apreciado en la tabla 4.4.1 se puede establecer una interrelación entre la señal de salida del sensor de presión de cavidad en pico coulomb (pC), la presión específica que experimenta el plástico (bar) y el voltaje de salida del amplificador de carga (V, mV).

Adicionalmente, como se puede observar en la figura 8.4.4 se provee también el diagrama tanto de salida del amplificador de carga, así como de las entradas analógicas de la máquina de inyección de plástico donde se pretende hacer dicha implementación.

Como se ha mencionado anteriormente, toda la documentación e información técnica presentada en el presente proyecto, será archivada y puesta a total disposición de la empresa Novem Honduras para su respectiva ejecución.

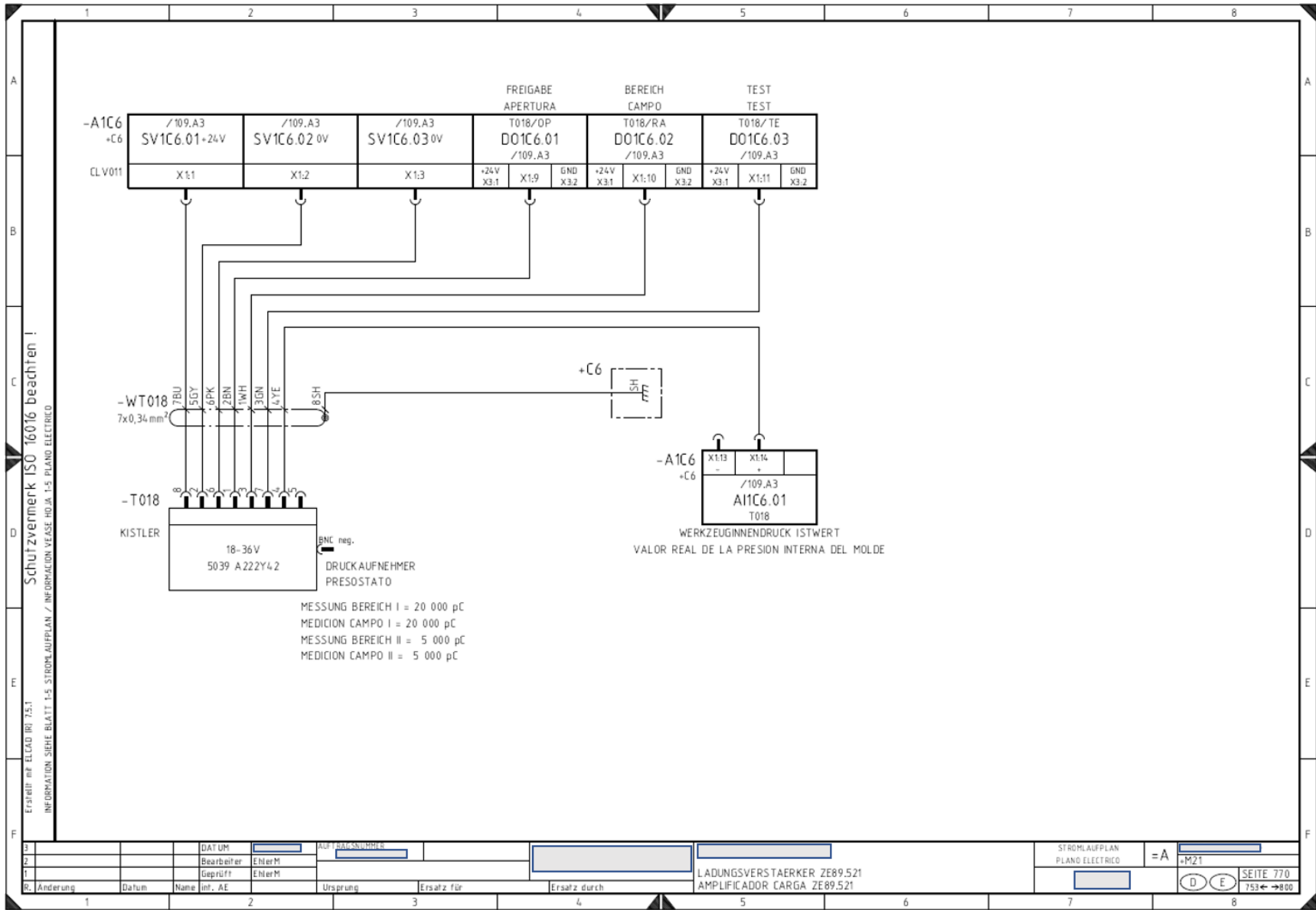


Figura 8.4.4 Diagrama de entradas y salidas en la máquina de inyección

### 8.4.3. Prototipo de placa PCB

Adicionalmente a los prototipos de funcionamiento operacional y electrónico previamente mostrados en la sección 8.4.1 y 8.4.2 respectivamente, se presenta a continuación con la ayuda del software de simulación de placas electrónicas NI Ultiboard 14.0 un diseño de placa PCB (Printed Circuit Board) con la finalidad de lograr tener un punto de partida en caso de querer llevar a la práctica el prototipo de manera física, tal como se muestra en la figura 8.4.5

El prototipo de placa representa la distribución física de cada uno de los elementos que componen el proyecto; sin embargo, es necesario hacer la aclaración que este prototipo de placa PCB carece del sensor de presión y de la fuente de alimentación externa; por lo cual es necesario proveerlos de manera externa a la placa prototipo, funcionando tal cual lo hace el amplificador de carga Kistler 5039A propuesto para la implementación.

También se proveen las respectivas impresiones de serigrafía superior, mostrando el layout o distribución de cada uno de los elementos que componen el prototipo de placa, así como la distribución del cobre y puntos de soldadura de la parte inferior de la placa, tal como lo muestran las figuras 8.4.6 y 8.4.7 respectivamente.

*Tabla 8.4.2 Elementos incluidos en la placa prototipo*

ELEMENTO	REPRESENTACIÓN	VALOR
Conector coaxial	Charge 413990-1	N/A
Resistencia	R1	1 $\Omega$
Resistencia	R2	100k $\Omega$
Resistencia	R3, R4	500 $\Omega$
Resistencia	R5	10k $\Omega$
Resistencia	R6	12k $\Omega$
Resistencia variable	R7	10k $\Omega$
Capacitor	C1	100 $\mu$ F
Amplificador Operacional	U1A, U2A	LM358JG
Conectores entrada y salida	Vin, Vout	N/A

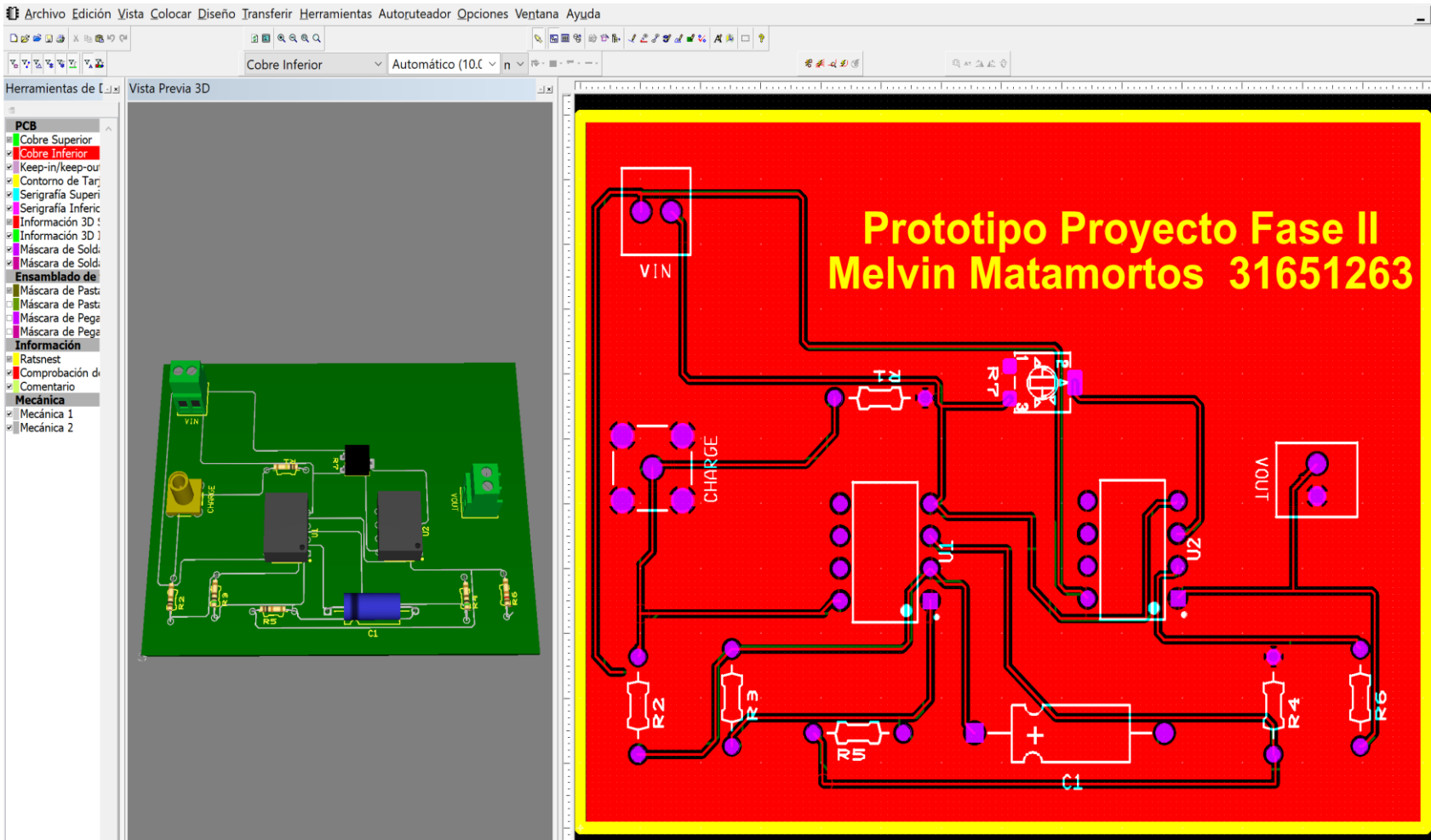


Figura 8.4.5 Prototipo de placa PC

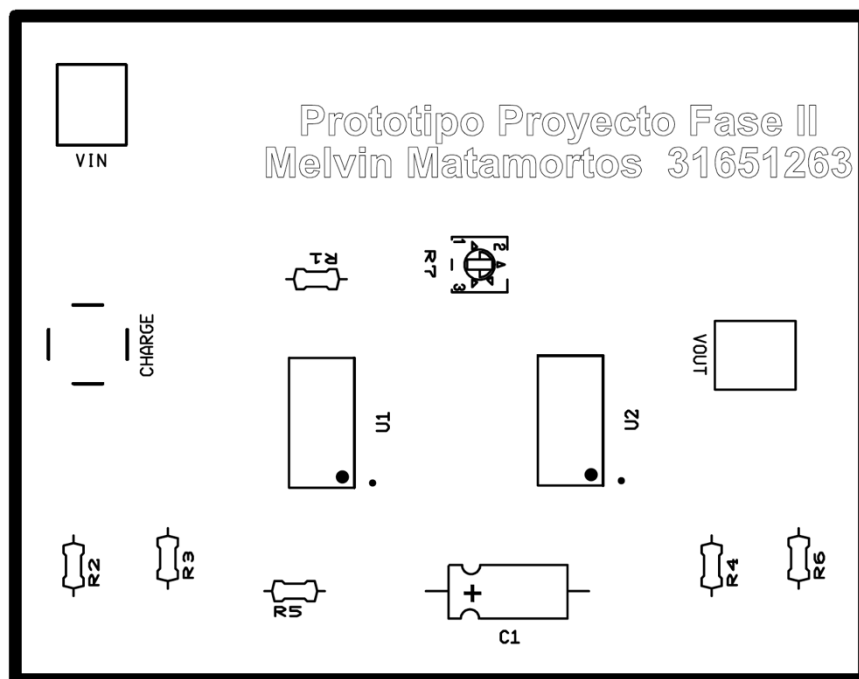


Figura 8.4.6 Serigrafía superior de placa prototipo

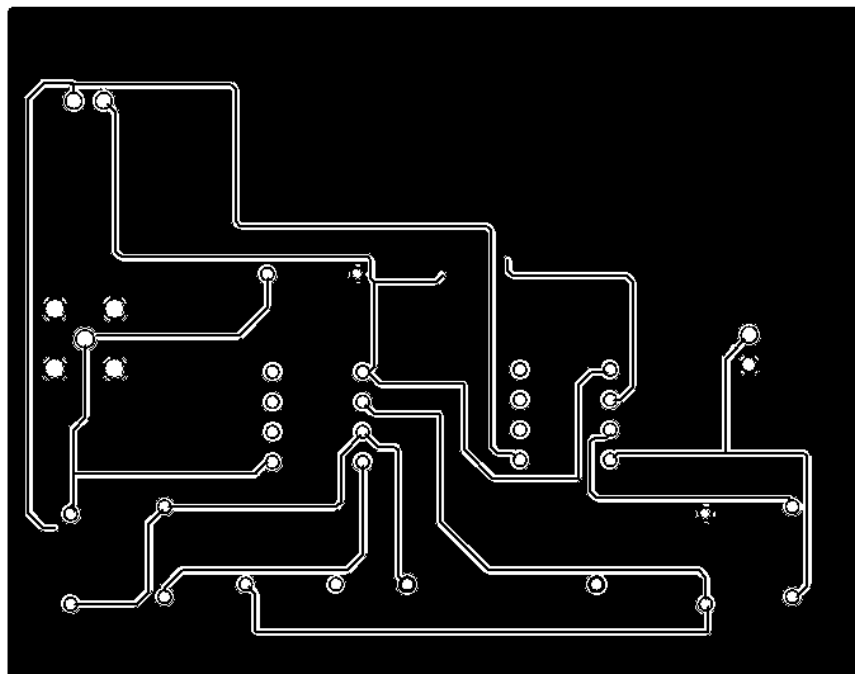


Figura 8.4.7 Distribución de puntos de soldadura placa prototipo

## CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES

1. Se acepta la hipótesis de investigación que afirma que la implementación de un sensor de presión piezoeléctrico insertado en la cavidad del molde de inyección, puede reducir los desechos del proceso hasta en un 80%, misma que pudo ser corroborada mediante cuestionario a expertos en el tema, así también mediante bibliografía y el respectivo prototipo virtual.
2. Queda evidenciado que la implementación de un sensor de presión de cavidad tiene la bondad de hacer el proceso de llenado del molde de inyección más repetitivo, esto debido a que se sortean las fluctuaciones de densidad del plástico en términos de la temperatura del mismo.
3. Lo expuesto en la presente investigación nos permite concluir que para la implementación de un sensor de presión de cavidad en la empresa Novem Honduras, se debe considerar el uso de un sensor del tipo piezoeléctrico dadas sus características técnicas, es decir que no requiere de alimentación externa y no se ve influenciado de manera significativa por las altas temperaturas del molde de inyección de plástico.
4. Adicionalmente se concluye que el tipo de interfaz adecuado para este tipo de proceso, es el amplificador de carga; debido a los pequeños valores de carga entregados por este tipo de sensor (alrededor de unas pocas decenas de Pico Coulombs) siendo este amplificador un elemento externo a la máquina de inyección de plástico.
5. Se pudo también demostrar mediante el análisis de prototipo virtual, tanto operacional como electrónico, que los valores teóricos calculados para el amplificador de carga son representativos del proceso real.
6. Se demostró mediante análisis financiero la factibilidad de este proyecto de implementación de un sensor de presión de cavidad y sus bondades en términos del retorno

de inversión; teniendo un retorno de inversión menor a un año para una sola máquina y de cinco años para diez de ellas.

7. El estudio económico del presente proyecto, permitió desarrollar los costos asociados al mismo y determinar tanto la inversión inicial como el respectivo punto de equilibrio; arrojando una tasa interna de retorno del 34%.

## CAPÍTULO X. RECOMENDACIONES

1. Dado lo expuesto en la presente investigación, nos permite recomendar que para la implementación de un sensor de presión de cavidad en la empresa Novem Honduras, se debe hacer uso de un sensor del tipo piezoeléctrico con el propósito de aprovechar sus características; debido a que este tipo de sensores, no requiere de una alimentación externa para su funcionamiento, adicionalmente, se analiza la implementación de un único sensor dentro de la cavidad; debido a que añadir dos o más sensores ayudan a tener más de un punto de medición, sin embargo, la máquina de inyección cuenta con una sólo entrada de material, lo que hace carecer de sentido el implementar más de un sensor.
2. El tipo de interfaz que se recomienda para este tipo de proceso, es el amplificador de carga 5039A de la compañía Kistler, con un rango de hasta 20000 pC (Pico Coulomb) que es un valor muy común en el mercado de este tipo de amplificadores, dejando así un amplio rango de operación para futuras aplicaciones.
3. Teniendo en consideración que el 66.7% de los encuestados consideran que la razón por la cual este tipo de sensores no se incluyen desde fábrica, es la carencia de una interfaz de comunicación en la mayoría de las máquinas de inyección (a menos que se le solicite al fabricante a un costo adicional) se recomienda someter a discusión el análisis del estudio costo–beneficio incluido en la presente investigación, con la intención de determinar los beneficios de llevar esta investigación a fase de ejecución.
4. Se recomienda iniciar la implementación de un sensor de presión de cavidad en un molde de inyección que sea “High Runner” es decir, un molde que tenga alto volumen de producción; con la intención de ver reflejado de manera rápida y significativa el impacto positivo en la reducción de costos por piezas defectuosas.
5. Posterior a la implementación del sensor de presión de cavidad, se recomienda medir nuevamente el porcentaje de piezas rechazadas y hacer un Pareto que permita visualizar

las causas externas que pudieran estar aún afectando la estabilidad del proceso de inyección de plástico en términos de su llenado de cavidad.

6. Debido a la hipótesis de que un sensor de presión de cavidad es una opción viable para el fortalecimiento del proceso productivo en el área de inyección de plástico, se recomienda analizar a profundidad si la implementación de dos o más sensores de presión de cavidad podrían ser de utilidad al momento de dar una lectura confiable al sistema de inyección.
7. Se recomienda la realización de un análisis técnico para determinar cuántas de las máquinas en planta cuentan con la opción de llenado por presión de cavidad dentro del software con que actualmente cuentan y determinar cuántas de ellas requieren de una posible actualización del software para acceder a esta característica.

## CAPÍTULO XI. BIBLIOGRAFÍA

### BIBLIOGRAFÍA

- Wilson, J. S. (2005). *Sensor Technology Handbook*. Burlington : Newnes.
- Mendil , X., Llanos, I., Urreta, H., & Quintana, I. (2016). *In process quality control on micro-injection moulding: the role of sensor location*. Springer.
- Krazmer, D., & Barkan, P. (1997). *The process capability of multi-cavity pressure control for the injection molding process*. ProQuest.
- Keim , R. (2021). How to Design Charge Amplifiers for Piezoelectric Sensors. *All About Circuits*. Obtenido de <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/how-to-design-charge-amplifiers-piezoelectric-sensors/>
- Keim, R. (2018). Understanding and Implementing Charge Amplifiers for Piezoelectric Sensor Systems. *All About Circuits*.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. México: McGrawHill.
- Goodship, V. (2004). *Practical Guide to Injection Molding*. United Kingdom: Rapra Technology.
- Franden , J. (2010). *Handbook of Modern Sensors, Physics, Designs, and Applications*. New York: Springer.
- Dubay, R. (2001). *Predictive control of cavity pressure during injection filling*. ProQuest.
- D'Alessandro, L., Gonzáles, L., & Cáceres, L. (2014). Design and Construction of Small Power Boost Converter with Educational and Research. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 66.
- AFAPLASH. (03 de Agosto de 2021). *AFAPLASH*. Obtenido de <https://www.afaplash.org/>

Banco Central de Honduras. (03 de Agosto de 2021). *https://www.bch.hn*. Obtenido de [https://www.bch.hn/estadisticos/EME/Informe%20de%20Mercancias%20Generales/Informe%20de%20Comercio%20Exterior%20de%20Mercanc%C3%ADas%20Generales%20a%20enero\\_2021.pdf](https://www.bch.hn/estadisticos/EME/Informe%20de%20Mercancias%20Generales/Informe%20de%20Comercio%20Exterior%20de%20Mercanc%C3%ADas%20Generales%20a%20enero_2021.pdf)

Linder, S. (25 de Abril de 2021). *dialnet*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2265492>

Fernández Galeano, A. E. (2018). Estudio de sensores piezoeléctricos en. Universidad Politécnica de Valencia.

Elena, U. E. (18 de Junio de 2021). Obtenido de <https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Fundamentos+b%C3%A1sico+de+instrumentaci%C3%B3n+y+control.pdf/df746edc-8bd8-2191-2218-4acf36957671>

Cotés Aguilar, T. A. (03 de Mayo de 2021). *Instituto Tecnológico Superior*. Obtenido de [https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14084/mod\\_resource/content/0/instrumentosniveles.pdf](https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14084/mod_resource/content/0/instrumentosniveles.pdf)

Carballo, J., & Romero, D. (20 de Mayo de 2021). *Universidad Tecnológica Bilívar*. Obtenido de <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0062398.pdf>

Scimedirect. (10 de Mayo de 2021). *Scimedirect*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/charge-amplifier>

AVNET ABACUS. (10 de Mayo de 2021). *Pressure sensors: The design engineer's guide*. Obtenido de <https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/technologies/sensors/pressure-sensors/>

Kistler Group. (12 de Mayo de 2021). *Kistler*. Obtenido de <https://www.kistler.com/es/glosario/termino/amplificadores-de-carga/>

Endevco. (10 de Mayo de 2021). *Endevco*. Obtenido de <https://endevco.com/Our-Resources/Ask-the-Experts/expert-detail/what-is-a-charge-amplifier-and-why-do-i-need-one>

- Apisolution. (27 de Mayo de 2021). *Apisolution*. Obtenido de [https://www.apisolution.com/downloads/glossary\\_plastic\\_injection\\_molding\\_engineering\\_manufacturing.pdf](https://www.apisolution.com/downloads/glossary_plastic_injection_molding_engineering_manufacturing.pdf)
- Karki, J. (03 de Septiembre de 2000). *Texas Instrument*. Obtenido de <https://www.ti.com/lit/an/sloa033a/sloa033a.pdf>
- HBM. (15 de Mayo de 2021). *HBM*. Obtenido de <https://www.hbm.com/es/7646/que-es-un-sensor-de-presion/>
- Regloplas. (18 de Mayo de 2021). *Regloplas*. Obtenido de <https://www.regloplas.com/en/technologies/mould-temperature-control/temperature-control-in-plastic-injection-moulds/>
- Plastics. 100% Quality Injection Molding. (2021). *Plastics. 100% Quality Injection Molding. Kistler*, 66.
- Ruiz Medina, M. I. (24 de Agosto de 2021). *Edumed.net*. Obtenido de [https://www.eumed.net/tesis-doctorales/2012/mirm/cualitativo\\_cuantitativo\\_mixto.html#:~:text=El%20enfoque%20de%20la%20investigaci%C3%B3n,generalizaci%C3%B3n%3B%20mientras%20que%20el%20m%C3%A9todo](https://www.eumed.net/tesis-doctorales/2012/mirm/cualitativo_cuantitativo_mixto.html#:~:text=El%20enfoque%20de%20la%20investigaci%C3%B3n,generalizaci%C3%B3n%3B%20mientras%20que%20el%20m%C3%A9todo)
- Castellanos, N. (05 de Septiembre de 2021). *Revistas Uniminuto*. Obtenido de <https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Inventum/article/view/549/518>
- Wilson, J. S. (2005). *Sensor Technology Handbook*. Burlington: Elsevier.
- Forencis Research. (10 de Agosto de 2021). Obtenido de <https://www.forencisresearch.com/pressure-sensor-market/>
- Baca Urbina, G. (2010). *Evaluación de Proyectos*. México: Mc Graw Hill.

SERNA. (13 de Noviembre de 2021). *portalunico.iaip.gob.hn*. Obtenido de [https://portalunico.iaip.gob.hn/portal/ver\\_documento.php?uid=NjAwMDQ4OTM0NzYzNDg3MTI0NjE5ODcyMzQy](https://portalunico.iaip.gob.hn/portal/ver_documento.php?uid=NjAwMDQ4OTM0NzYzNDg3MTI0NjE5ODcyMzQy)

Gomez, M. (2015). *http://www.economia.unam.mx*. Obtenido de <http://www.economia.unam.mx/secss/docs/tesisfe/GomezAM/cap3.pdf>

## **CAPÍTULO XII. ANEXOS**

### **Encuesta**

La siguiente encuesta tienen como propósito el conocer la opinión del personal técnico de mantenimiento, ingeniería de procesos y gestión de proyectos de la empresa Novem Honduras, esto con el propósito de tener un mejor panorama acerca de la implementación de un sensor de presión de cavidad; ya que este personal tiene mucho conocimiento acerca del proceso del moldeo por inyección y su opinión es de mucho valor para la presente investigación.

**Centro Universitario Tecnológico**  
**Facultad de Ingeniería Electrónica**  
**“Encuesta”**

**Implementación de sensor de cavidad**

La implementación de un sensor de presión de cavidad en el molde de inyección de plástico representa una potencial mejora para el proceso productivo en términos de la calidad. Debido a su conocimiento en el tema de inyección de plásticos, ha sido usted seleccionado para responder a las siguientes preguntas en relación a la implementación de esta tecnología; agradezco de antemano su valioso aporte al tema de investigación.

Pregunta 1. ¿Cuántos años de experiencia tiene usted en el proceso de inyección de plásticos?

- Entre 1 a 5 años
- Entre 6 a 10 años
- Entre 10 a 15 años

Pregunta 2. ¿En qué departamento trabaja usted?

- Ingeniería de Procesos
- Gestión de Proyectos
- Departamento de Mantenimiento

Pregunta 3. ¿Sabe usted si actualmente se tienen problemas de calidad en el producto por problemas de llenado de cavidad?

- Mucho
- Poco
- No estoy seguro

Pregunta 4. ¿Basado en la pregunta anterior, considera usted que el actual sistema de llenado por volumen es eficiente?

- Si es eficiente
- No es eficiente
- No estoy seguro

Pregunta 5. ¿Cuál considera usted que puede ser el mejor sistema de llenado de cavidad?

- Llenado por volumen
- Llenado por tiempo
- Llenado por presión de cavidad

Pregunta 6. ¿En su opinión valdría la pena invertir en un sistema que impida los problemas de llenado de cavidad?

- Mucho
- Poco
- No estoy seguro

Pregunta 7. ¿Qué tipo de sensor cree usted que se adaptaría mejor al proceso de llenado por presión de cavidad?

- Piezoeléctrico
- Piezoresistivo
- No estoy seguro

Pregunta 8. ¿Considera usted que un amplificador de carga sería la mejor opción para la interfaz sensor - máquina?

- Si
- No
- No estoy seguro

Pregunta 9. ¿Qué porcentaje de mejora cree usted que se tendría en el caso de implementar un sensor de presión de cavidad en el molde de inyección?

- Entre 30% y 40%
- Entre 40% y 60%
- Entre 60% y 80%

Pregunta 10. ¿Qué efectos traería la implementación de un sensor de cavidad de presión?

- Reducir los costos de calidad por piezas defectuosas
- Aumentar la robustez del proceso de inyección
- Ambas opciones son correctas

Pregunta 11. ¿Por qué considera usted que los moldes de inyección no incluyen un sensor de presión de cavidad de forma predeterminada?

- Desconocimiento de la tecnología
- Alto costo de fabricación
- No todas las maquinas poseen una interfaz de comunicación incorporada

Pregunta 12. ¿Considera usted que la implementación de un sensor de presión de cavidad sería financieramente factible en términos del retorno de inversión?

- Muy factible
- Poco factible
- No estoy seguro

Pregunta 13. ¿Ayudaría en alguna medida la implementación de esta tecnología al logro de uno o más indicadores de su departamento?

- Si ayudaría
- No ayudaría
- No estoy seguro