



**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**



**AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA  
MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCIÓN  
DE CEREALES**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. HITLER IVAN CHACON QUISPE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO MECATRÓNICO**

**JULIACA – PERÚ**

**2025**



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA  
MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCIÓN  
DE CEREALES**

TESIS PRESENTADA POR:

**Bach. HITLER IVAN CHACON QUISPE**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO MECATRÓNICO**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

**PRESIDENTE**

:

  
Mgtr. SALVADOR TEÓDORO VALDIVIA CARDENAS

**PRIMER MIEMBRO**

:

  
Ing. CARLOS ALEJANDRO CÁCERES VARGAS

**SEGUNDO MIEMBRO**

:

  
Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON

**ASESOR DE TESIS**

:

  
M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN – P21**



**UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1206-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 30 de septiembre del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025 - CU - 8141 presentado por el (la) Bachiller: **HITLER IVAN CHACON QUISPE** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN.**

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) Bach. **HITLER IVAN CHACON QUISPE**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecatrónico.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- \* **Presidente** : Mgrt. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
- \* **1er Miembro** : Ing. CARLOS ALEJANDRO CÁCERES VARGAS
- \* **2do Miembro** : Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN

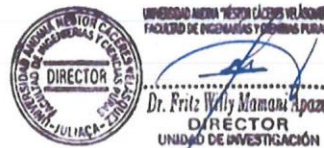
**ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA.**

**ARTICULO TERCERO. - APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **HITLER IVAN CHACON QUISPE**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecatrónico.** de acuerdo al siguiente detalle:

- \* **FECHA** : viernes 10 de octubre del 2025
- \* **HORA** : 14:00 horas
- \* **LUGAR** : Aula 204 - FICP

**ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



cc.  
Archivo  
interesado (s)



**UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1064-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 12 de septiembre del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU- 6473, presentado por el señor (a) **HITLER IVAN CHACON QUISPE** solicitando **CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACIÓN**, el Proveído del Director de la Unidad de Investigación de la FICP, y la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 195-2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN RESOLUCIÓN DECANAL N° 1223-2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación del **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para optar el título profesional de Ingeniero Mecatrónico.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **HITLER IVAN CHACON QUISPE** ha presentado cambio de asesor de tesis del tema investigación Titulada: **AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecatrónico**.

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la FICP a tomado conocimiento que el asesor **Dr. RICARDO ANIBAL MALDONADO MAMANI** no tiene vínculo laboral en la facultad de ingenierías y ciencias puras y existiendo la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 195-2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN RESOLUCIÓN DECANAL N° 1223-2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación del **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**.

Estando, a la solicitud del ejecutante y en cumplimiento al reglamento al Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención Grados Académicos y Títulos Profesionales; el director de la Unidad de Investigación **Dr. Fritz Willy Mamani Apaza** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió el proveído favorable del cambio de asesor de investigación del tema titulada: **AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACION**, designado al señor (a): **HITLER IVAN CHACON QUISPE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico, con el Tema Titulada: **AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN**, se le asigna como:

**ASESOR: M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a la) docente **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. OSCAR V. VIANONTE CALLA  
DECANO (e)  
C.I.P. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo 2025  
Interesarlo (a)



**UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1640-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 04 de diciembre del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU- 17754, presentado por el señor (a) **HITLER IVAN CHACON QUISPE** solicitando **CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACIÓN**, el Proveedor del Director de la Unidad de Investigación de la FICP, y la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 195-2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** **RESOLUCIÓN DECANAL N° 1223 -2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación del **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para optar el título profesional de Ingeniero Mecatrónico.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **HITLER IVAN CHACON QUISPE** ha presentado cambio de asesor de tesis del tema investigación Titulado: **AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecatrónico**.

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la FICP a tomado conocimiento que el asesor **MSc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA** no tiene vínculo laboral en la facultad de ingenierías y ciencias puras y existiendo la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 195-2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** **RESOLUCIÓN DECANAL N° 1223 -2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación del **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**.

Estando, a la solicitud del ejecutante y en cumplimiento al reglamento al Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención Grados Académicos y Títulos Profesionales; el director de la Unidad de Investigación **Dr. Efraín Parillo Sosa** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió el proveído favorable del cambio de asesor de investigación del tema titulado: **AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACION**, designado al señor (a): **HITLER IVAN CHACON QUISPE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico, con el Tema Titulado: **AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN**, se le asigna como:

**ASESOR: Dr. RICARDO ANIBAL MALDONADO MAMANI**

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a la) docente **Dr. RICARDO ANIBAL MALDONADO MAMANI**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

  
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
.....  
Dr. MILTON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790

  
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
.....  
Dr. Efraín Parillo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc:  
Archivo 2024  
Interesado (a)



# UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

## RESOLUCIÓN DECANAL N° 1223-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 07 de octubre del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU - 13374 por el señor (a): **HITLER IVAN CHACON QUISPE** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 1069 - 2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 009 - 2024 del integrante del comité de investigación 1223 de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **HITLER IVAN CHACON QUISPE**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecatrónico**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Ing. Adwar Ranulfo Sanchez Carreón** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 009 - 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **HITLER IVAN CHACON QUISPE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico, con el Tema Titulado: **AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) **la)**, **M.Sc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
Dr. Hitler Ivan Quispe Huanca  
DECANO  
CIP 47790



Dr. Elroy Parillo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc  
Archivo  
interesado (a)



# UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

## RESOLUCIÓN DECANAL N° 195-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 23 de abril del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU- 2752, presentado por el señor (a) **HITLER IVAN CHACON QUISPE** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el PROVEIDO - N° 162 -2024-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 010 -2024 del integrante del comité de investigación **EPIM** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **HITLER IVAN CHACON QUISPE** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecatrónico**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Ing. Adwar Ranulfo Sanchez Carreón** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 010 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **HITLER IVAN CHACON QUISPE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico, con el Tema Titulado: **AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **M.Sc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

*[Firma]*

**MILTHON QUISPE HUANCA**  
DECANO  
CIP 47790



*[Firma]*

**Dr. Efraín Arzú Soza**  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo 2024  
Interesado (a)



# 19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

## Fuentes principales

- 10% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 14% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.




## Metadatos Complementarios



Título de la tesis	
<b>AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES</b>	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	HITLER IVAN CHACON QUISPE
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70230422
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0006-0700-1892">https://orcid.org/0009-0006-0700-1892</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	01323821
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0003-4595-7589">https://orcid.org/0000-0003-4595-7589</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02383061
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	CARLOS ALEJANDRO CÁCERES VARGAS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	29591476
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02064066



<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	<b>Tecnología de la instrumentación – P21</b>
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca Longitud oeste: -15.481851250200059, - Latitud sur: -70.12075060454241
	 <p><b>Url:</b> <a href="https://goo.su/KZHoDeM">https://goo.su/KZHoDeM</a></p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Junio 2023 - diciembre 2024
URL de disciplinas OCDE <a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a> - Librería	<b>Robótica, Control automático</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.02">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.02</a> <b>Mecánica aplicada</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.02">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.02</a>



UNIVERSIDAD ANDINA "DESPOB CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

*Dr. Fritz Willy Mamani Apaza*  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



**DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD**

Yo **HITLER IVAN CHACON QUISPE**, identificado con DNI

Nro. **70230422** en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional**
- Programa de Segunda Especialidad,**
- Programa de Maestría o Doctorado**

**INGENIERÍA MECATRÓNICA**

informo que he elaborado el/la  **Tesis** o  **Trabajo de Investigación,**  **Trabajo Académico** denominada:

**AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES**

Asesorado por: **M. Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca\_\_18\_\_de noviembre del 2025

Firma del Asesor  
(obligatoria)

Firma del Estudiante  
(obligatoria)



Huella



### DEDICATORIA

A mis amados padres, Augusto y Braulia, cuyo amor incondicional, esfuerzo incansable y valioso ejemplo me enseñaron que con dedicación y constancia los sueños pueden hacerse realidad. Gracias por ser mi apoyo en los momentos de adversidad y mi fuente permanente de inspiración. Este logro les pertenece tanto a ustedes como a mí.

A mi amada Edith Quenta, compañera incansable en este camino. Agradezco su paciencia, comprensión y apoyo durante todo este proceso. Tu amor y apoyo han sido mi refugio y mi motor.

A mis hermanos, Franky, Kevin y Mike, por estar siempre presentes con su cariño, alegría y palabras de aliento. Ustedes han sido parte esencial en mi crecimiento y motivación para seguir adelante.

Con todo mi amor y gratitud, les dedico este trabajo, fruto de muchos sueños, desafíos y esperanzas compartidas. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

*"Detrás de cada meta alcanzada hay una historia de amor, esfuerzo y fe."*



### AGRADECIMIENTO

Expreso a la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, eternamente agradecido por la oportunidad que me brindaron una formación académica sólida y los valores necesarios para afrontar los desafíos profesionales y personales. Esta institución ha sido el espacio donde crecí como estudiante y como ser humano.

Mi especial gratitud al **Ing. Adwar Ranulfo Sánchez Carreón**, por su constante orientación, disposición y apoyo durante mi proceso formativo. Su experiencia y compromiso han sido una guía invaluable a lo largo de mi carrera.

Al **Dr. Ricardo Aníbal Maldonado Mamani**, asesor de tesis, agradezco profundamente su paciencia, exigencia académica y valiosa orientación en cada etapa de la elaboración de este trabajo. Su guía fue fundamental para lograr una investigación rigurosa y bien estructurada.

A los distinguidos **miembros del jurado calificador**, por su tiempo, dedicación y aportes académicos durante la evaluación de esta tesis. Sus observaciones y sugerencias han enriquecido significativamente este trabajo.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento y respeto por ser parte de este importante logro en mi vida profesional.



INDICE DE GENERAL

DEDICATORIA ..... iii

AGRADECIMIENTO ..... iv

INDICE DE GENERAL..... v

ÍNDICE DE FIGURAS..... vi

ÍNDICE DE TABLAS ..... vii

RESUMEN..... viii

ABSTRACT ..... ix

INTRODUCCIÓN ..... x

    1. 2. 1 Problema general ..... 15

    1. 2. 2 Problemas específicos ..... 15

    1. 3 Objetivos de la investigación..... 15

    1. 3. 1 Objetivo general ..... 15

    1. 4 Justificación de estudio ..... 15

    1. 6. 1 Hipótesis general ..... 17

    1. 6. 2 Hipótesis específicas..... 18

    1. 7 Variables de investigación ..... 18

    1. 8 Operacionalización de variables ..... 18

CAPITULO II..... 19

MARCO TEÓRICO ..... 19

    2. 1 Antecedentes de la investigación ..... 19

    2. 1. 1 Nivel internacional ..... 19

    2. 1. 2 A nivel nacional ..... 22

CAPITULO III..... 67

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN ..... 67

    3. 1 Método de investigación ..... 67

    3. 2 Tipo de investigación ..... 67

CAPITULO IV ..... 71

ANÁLISIS DE RESULTADO Y DISCUSION ..... 71

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 92

CONCLUSIONES ..... 92

RECOMENDACIONES ..... 93

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 94

ANEXOS..... 96



ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1** Sistema Automático ..... 25

**Figura 2** Sistema de control de lazo abierto..... 26

**Figura 3** Sistema de lazo cerrado..... 27

**Figura 4** Lazo de control proceso de extrusión..... 27

**Figura 5** Human Machine Interface..... 29

**Figura 6** PLC Siemens S7-1200 ..... 33

**Figura 7** Módulo de entradas analógicas SM 1231 ..... 33

**Figura 8** La conexión entre el área y el sensor establecida a partir de la experiencia .... 35

**Figura 9** Relación entre el valor real de la resistencia ..... 36

**Figura 10** Características de sondas de resistencia ..... 36

**Figura 11** Pt100 es una clase específica de RTD..... 37

**Figura 12** Método sencillo para determinar la temperatura..... 37

**Figura 13** PT100 Sensor de temperatura industrial ..... 38

**Figura 14** Puente de Wheatstone para sondas de resistencia..... 39

**Figura 15** Transmisor de temperatura de 4-20mA para PT100, 24V ..... 39

**Figura 16** Relé de estado sólido..... 40

**Figura 17** Resistencia de abrazadera..... 40

**Figura 18** Sensor de corriente trifásico ..... 41

**Figura 19** Partes de la máquina de extrusión ..... 44

**Figura 20** Zonas dentro de un extrusor ..... 46

**Figura 21** Partes del tornillo de un extrusor ..... 47

**Figura 22** Componente de boquilla para equipo extrusor..... 49

**Figura 23** Proceso de extrusión ..... 50

**Figura 24** Desplazamiento de material en una tolva de alimentación ..... 51

**Figura 25** Representación del caudal de salida..... 52

**Figura 26** Imagen transversal de la extrusor..... 52

**Figura 27** Contracción debida al enfriamiento de un material de sección cuadrada. .... 53

**Figura 28** Influencia del agua sobre el proceso de Preacondicionamiento..... 55

**Figura 29** Efecto de la granulometría ..... 58

**Figura 30** Materias primas y su uso en extrusión ..... 60

**Figura 31** Estructura de un grano de Maíz..... 62

**Figura 32** Tablero de control ..... 71

**Figura 33** Iniciador del programa Simatic Tia Portal ..... 75

**Figura 34** Interfaz de elección de dispositivos ..... 75

**Figura 35** Elección de dispositivos ..... 76

**Figura 36** Visualización del dispositivo y de los módulos añadidos..... 76

**Figura 37** Programación de la temperatura..... 76

**Figura 38** Programación para comparación de la temperatura ..... 77

**Figura 39** Diagrama de flujo del programa del PLC. .... 79

**Figura 40** Elección de la pantalla HMI..... 80

**Figura 41** Visión de redes del proyecto ..... 80

**Figura 42** Interfaz gráfica HMI..... 80

**Figura 43** Diagrama de flujo..... 82

**Figura 44** Interfaz gráfica Pc "Histórico de temperaturas" ..... 85



### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables .....	18
<b>Tabla 3</b> Temperatura de gelatinización de diferentes almidones.....	64
<b>Tabla 4</b> Técnicas e instrumentos de recogida de información.....	68
<b>Tabla 5</b> Recogida de datos .....	70
<b>Tabla 6</b> Comparación de criterios en investigación realizada .....	91



### RESUMEN

La presente tesis se implementa un sistema de automatización aplicado a una máquina extrusora de tipo monohusillo, con el propósito de optimizar el proceso de producción de cereales. El trabajo parte de la demanda de renovación tecnológica y aumento en la eficacia operativa de este tipo de maquinaria, muy utilizada en la industria alimentaria para el procesamiento de materias primas para obtener productos expandidos como cereales para el desayuno.

A lo largo del proyecto se siguió una metodología de diseño estructurado, comenzando con la identificación de los requerimientos funcionales y técnicos del sistema. Posteriormente, se evaluaron distintas soluciones tecnológicas y se eligió la más adecuada en función de su viabilidad, costo y facilidad de implementación.

La implementación del sistema automatizado implicó el uso de sensores, actuadores, dispositivos de control y una interfaz interactiva, lo que permitió un control y una supervisión más precisos del proceso de extrusión. Esta integración no solo contribuye a un mejor producto final, sino que además facilita las tareas de mantenimiento y operación, especialmente en contextos académicos o de formación técnica.

Como resultado, la extrusora automatizada ofrece una mayor flexibilidad en el manejo de diferentes tipos de materia prima, además de permitir ajustes en parámetros clave como el control de la temperatura. El sistema también contribuye a una producción más constante y repetible, reduciendo errores humanos y tiempos de parada.

Palabras clave: Automatización, máquina, extrusora monohusillo.



### ABSTRACT

This thesis presents the implementation of an automation system applied to a single-screw extruder machine, with the aim of optimizing the cereal production process. The project is based on the demand for technological renewal and increased operational efficiency of this type of machinery, which is widely used in the food industry for processing raw materials into expanded products such as breakfast cereals.

Throughout the project, a structured design methodology was followed, starting with the identification of the system's functional and technical requirements. Subsequently, various technological solutions were evaluated, and the most suitable one was selected based on feasibility, cost, and ease of implementation.

The implementation of the automated system involved the use of sensors, actuators, control devices, and an interactive interface, enabling more precise control and monitoring of the extrusion process. This integration not only contributes to a better final product but also facilitates maintenance and operation tasks, especially in academic or technical training contexts.

As a result, the automated extruder offers greater flexibility in handling different types of raw materials, as well as allowing adjustments to key parameters such as temperature control. The system also contributes to more consistent and repeatable production, reducing human errors and downtime.

Keywords: Automation, single-screw extruder, machine.



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria alimentaria enfrenta grandes desafíos relacionados con la eficiencia, la calidad del producto y la adaptación a nuevas tecnologías. Dentro de este sector, el proceso de extrusión tiene un papel determinante en la transformación de recursos primarios en productos alimenticios de alto valor agregado, como los cereales para el desayuno. Una de las máquinas más utilizadas para este fin es la extrusora monohusillo, reconocida por su versatilidad y simplicidad en el procesamiento de alimentos.

Sin embargo, muchas de estas máquinas aún operan bajo sistemas manuales o semi-automáticos, lo cual limita su desempeño, precisión y disposición para actuar ante variaciones en los parámetros de producción. La automatización de estos equipos no solo permite mejorar la eficiencia operativa, sino que también garantiza una mayor homogeneidad en el producto final, facilita el monitoreo del proceso y reduce la intervención humana, lo que se traduce en menos errores y mayor seguridad alimentaria.

En este contexto, este trabajo de investigación tiene como finalidad la implementación de un sistema de automatización para una máquina extrusora de tipo monohusillo, destinada a la producción de cereales. A través del uso de sensores, controladores, actuadores y una interfaz hombre-máquina (HMI), se busca optimizar el control de variables clave del proceso, como la temperatura. Además, este proyecto considera su aplicación en entornos educativos, por lo que se propone un sistema didáctico y accesible que permita su uso en laboratorios de formación técnica o ingeniería.



Los resultados obtenidos demuestran que la automatización de una extrusora monohusillo no solo es viable, sino altamente beneficiosa tanto en contextos industriales como académicos.



## CAPITULO I

### ASPECTOS GENERALES

#### 1. 1 Formulación del problema

En la industria alimentaria, especialmente en la producción de cereales extruidos, el uso de extrusoras monohusillo es común debido a su eficiencia y bajo costo. Sin embargo, muchas de estas máquinas aún operan de forma manual o semi-automática, lo que limita su capacidad para mantener parámetros de producción constantes y precisos, afectando así la calidad del producto final.

La ausencia de un sistema automatizado hace imposible monitorear de inmediato parámetros críticos, como la temperatura, y la corriente de operación. Esto genera inconsistencias en la textura, forma y cocción del cereal producido, además de incrementar el riesgo de errores operativos y tiempos de parada.

Ante esta problemática, surge la necesidad de desarrollar un sistema de automatización para una extrusora monohusillo, que permita optimizar el control del proceso, garantizar la calidad del producto, y facilitar su uso en entornos académicos y de formación técnica.



## **1. 2 Planteamiento del problema**

### **1. 2. 1 Problema general**

¿Como automatizar una máquina extrusora monohusillo para la producción de cereales?

### **1. 2. 2 Problemas específicos**

¿De qué manera se realiza la selección de sensores para la automatización de la máquina extrusora monohusillo?

¿Como se desarrolla la programación del PLC para la automatización de la máquina extrusora monohusillo?

¿De qué manera se realiza la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real para la automatización de la máquina extrusora monohusillo?

## **1. 3 Objetivos de la investigación**

### **1. 3. 1 Objetivo general**

Automatizar una máquina extrusora monohusillo para la producción de cereales.

### **1. 3. 2 Objetivos específicos**

OE1. Seleccionar los sensores para la automatización de la máquina extrusora monohusillo.

OE2. Desarrollar la programación del PLC para la automatización de la máquina extrusora monohusillo.

OE3. Implementar un sistema de monitoreo en tiempo real HMI para la automatización de la máquina extrusora monohusillo.

## **1. 4 Justificación de estudio**

La automatización de procesos industriales ha cobrado mayor relevancia creciente en el sector alimentario. En este contexto, las extrusoras de un solo husillo utilizadas en la producción de cereales representan una oportunidad



relevante para implementar innovaciones tecnológicas que mejoren su rendimiento.

Actualmente, gran parte de estas máquinas funcionan manualmente, lo que resulta en una precisión limitada en el control de las variables del proceso, así como en una mayor vulnerabilidad a errores humanos y resultados inconsistentes. La automatización de estos equipos no solo mejorará la calidad del cereal producido, sino que también ahorrará costos operativos, minimizará el consumo y acortará los períodos de inactividad.

Además, este proyecto tiene un gran valor académico, ya que puede utilizarse como recurso didáctico en instituciones educativas, especialmente en programas de ingeniería, mecánica y otros programas técnicos. La automatización del extrusor proporciona un entorno de aprendizaje práctico que permite a los estudiantes ver y comprender cómo funciona un sistema de control real dentro de un proceso industrial.

Por tanto, esta investigación es relevante tanto porque tiene el potencial de optimizar los procesos industriales en la industria alimentaria como porque puede ser utilizada como herramienta de enseñanza de sistemas automatizados en el ámbito académico.

### **1. 5 Limitación de la investigación**

El sistema automatizado desarrollado y evaluado se concibió principalmente para su uso en entornos académicos o de producción de bajo nivel; por lo tanto, no se ha probado en entornos industriales de alta demanda. En consecuencia, los resultados obtenidos y las soluciones sugeridas podrían no ser totalmente transferibles a procesos de producción a gran escala.

Este estudio se centra específicamente en la automatización de una extrusora de un solo husillo. Por lo tanto, ni el sistema de control desarrollado ni los resultados obtenidos pueden aplicarse directamente a extrusoras de doble husillo ni a otros equipos de la industria alimentaria.

Aunque el sistema automatizado fue diseñado específicamente para la producción de cereales, su diseño y validación no tuvo en cuenta otros productos con propiedades diferentes, lo que limita su generalización y puede tener un impacto en su versatilidad en diversos contextos de producción.

El estudio se realizó utilizando los recursos técnicos y financieros disponibles dentro del ambiente académico, lo que limitó la inclusión de componentes de automatización con mayor capacidad o nivel industrial que pudieran haber mejorado el desempeño y eficiencia del sistema.

La ejecución del proyecto concluyó según el cronograma establecido para la realización de una tesis, lo que limitó el tiempo disponible para realizar pruebas más exhaustivas en condiciones de producción continua y, en consecuencia, limitó la capacidad de evaluar el rendimiento a largo plazo del sistema.

## **1. 6 Hipótesis de la investigación**

### **1. 6. 1 Hipótesis general**

La automatización de la máquina extrusora monohusillo para la producción de cereales, mediante la selección adecuada de sensores, el desarrollo de la programación del PLC y la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real con HMI, mejorará el control del proceso, incrementará la eficiencia operativa y optimizará la calidad del producto final.

### 1. 6. 2 Hipótesis específicas

**H1:** La correcta selección de sensores adecuados para la automatización permitirá obtener datos precisos y confiables que faciliten el control efectivo del proceso de extrusión.

**H2:** El desarrollo de una programación eficiente para el PLC garantizará un control automatizado efectivo del proceso de extrusión, reduciendo errores operativos.

**H3:** La implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real incrementará la capacidad de respuesta ante variaciones del proceso, mejorando la estabilidad y continuidad de la producción en la máquina extrusora monohusillo.

### 1. 7 Variables de investigación

Variable Independiente: Automatización de la máquina extrusora monohusillo.

Variable dependiente: Desempeño del proceso de extrusión.

### 1. 8 Operacionalización de variables

**Tabla 1** Operacionalización de variables

TIPO DE				
VARIABLE	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD
<b>Variable Independiente</b>	Automatización de la máquina extrusora monohusillo	Precisión en el control de parámetros	Exactitud de los datos recolectados por los sensores	°C
<b>Variable Dependiente</b>	Desempeño del proceso de extrusión	Productividad	Cantidad de cereales producidos por hora	kg/hora

*Nota: Elaboración propia*



## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2. 1 Antecedentes de la investigación

##### 2. 1. 1 Nivel internacional

(Molina, 2021) El proceso de extrusión en la industria alimentaria se explicará a fondo en este trabajo; para ello, es necesario describir la operación unitaria y los componentes que conforman el extrusor. así como los factores involucrados y el impacto que tienen a lo largo del proceso, todo con el objetivo de desarrollar una página web que sirva como contenido instructivo para los estudiantes que persiguen una carrera en ingeniería ambiental. especialmente para aquellos inscritos en los cursos de Laboratorio Experimental Multidisciplinario II.

Para hacer esto, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de los modelos pedagógicos actuales, enfatizando el modelo de "aprendizaje combinado", que requiere el uso de nuevos componentes de comunicación y tecnológicos. donde se combinan elementos como encuentros asincrónicos y encuentros presenciales. De manera similar, es necesario explicar los elementos técnicos y estéticos que componen una página web educativa.



Una vez que esto esté hecho, será necesario ver el impacto del sitio web, lo que implicará crear una evaluación donde los estudiantes y cualquier otra persona que visite el sitio web pueda proporcionar retroalimentación y, a su vez, mejorar esos aspectos técnicos para lograr el resultado deseado.

(Acevedo, 2020) La extrusión es el proceso de moldear un plástico o material que se asemeja a la pasta y pasarlo a través de un cilindro y/o troquel. Durante el proceso de extrusión, el material se fuerza a fluir a través de un cilindro y se combinan muchas operaciones. Unidades: amasado, moldeado, cocción, cizallamiento y mezclado (Perrot et al., 2012).

Existen varios tipos de extrusores, incluyendo la extrusión en frío, la extrusión con rosca de tornillo, la extrusión de un solo tornillo y la extrusión de doble tornillo. Los dos procesos más comunes para hacer alimentos son la congelación y el termoformado; este último es particularmente significativo ya que crea almidón y proteínas a partir de materias primas. Entre otros cambios se incluyen la gelatificación, la dextrinización de los gránulos de almidón, la desnaturalización de proteínas y la inactivación de enzimas (Emin et al., 2016).

En los últimos años, la industria alimentaria ha aumentado su uso del proceso de extracción y ha descubierto su eficiencia y versatilidad. Es posible combinar materias primas que contienen proteínas y almidón, así como variar las condiciones de procesamiento para obtener una amplia variedad de productos. Materias primas como cereales, compuestos vegetales, concentrados proteicos, matrices texturizadas, productos de cocción rápida, formulaciones para nutrición acuícola y alimentos balanceados para animales, entre otros" (Bouvier y Campanella, 2014).



El propósito de esta revisión de investigación es compilar y sintetizar información relevante proveniente de diversas fuentes especializadas, incluyendo artículos científicos y técnicos, textos que abordan en detalle el proceso de extrusión y sus tecnologías asociadas, así como estudios que analizan la influencia de las materias primas sobre la operación del proceso y las características de los productos alimentarios resultantes

En Colombia, Mejía y Ricardo (2016) afirman que para garantizar tanto la adecuada operación como la seguridad de la máquina, este proyecto busca desarrollar un sistema de automatización y control para el proceso de extrusión de tinajas de PVC, implementando estrategias que permitan el uso de tecnologías apropiadas para tal fin. En primer lugar, se seleccionaron las herramientas de medición y control que mejor se adaptaban a los requisitos del equipo y del proceso, haciendo hincapié en los transductores ópticos de presión tipo fusión para la medición de la presión y los termopares tipo J para la medición de la temperatura. Se determinó que el control PID en la extrusora era la estrategia de control más adecuada para la operación y el funcionamiento del sistema automatizado. La comunicación entre la HMI y el controlador fue posible gracias al diseño de la plataforma de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA). Para diseñar la interfaz se utilizó Win CC Flexible, y para conectar redes industriales se utilizará el protocolo Modbus. Al final, se eligió el controlador lógico adecuado para el sistema. Se utilizó el software de automatización Siemens Simatic S7-300 para seleccionar el sistema de control adecuado. Finalmente, se llevó a cabo un estudio de viabilidad para ver si se podía implementar el nuevo sistema de automatización y control. Los hallazgos



mostraron una disminución en el desperdicio de material y el uso de energía, junto con una mejora en la producción de tuberías de PVC.

### **2. 1. 2 A nivel nacional**

(Cadenillas, 2024) La producción de arroz, el segundo cultivo más consumido a nivel mundial, se concentra en Asia, representando el 85% del total, y el 15% restante proviene de otras naciones. Dentro de este porcentaje destaca el Perú, en particular la región Lambayeque, que produce un estimado de 324.000 toneladas métricas de arroz al año y constituye una de las principales zonas geográficas dedicadas a la producción arroceras. Una de las variedades de arroz procesado en Lambayeque es el arroz Ñelén, que se distingue por sus granos fracturados como resultado del proceso de molienda, que rompe las cáscaras del grano y deja fragmentos que son menos de un cuarto de grano entero. Se supone que tanto los humanos como los animales comen este arroz.

Con el fin de mejorar con éxito la alimentación de los consumidores de este cereal, la propuesta apunta a construir una máquina extrusora para molinos de arroz en Lambayeque que permitirá la fabricación de arroz fortificado, al que se le agregarán micronutrientes vitales para la salud.

(Ccora & Cruz, 2019) Las máquinas se evalúan según los procesos unitarios que ejecutan para transformar materiales, y se implementan diversas acciones para contribuir a la gestión de los procesos industriales, la cadena de producción y el bienestar del consumidor. El objetivo principal es promover el desarrollo continuo de los procedimientos productivos que sustentan la gestión de procesos.



(Rajo, 2013) Bajo la dirección del Ing. Williams Roldán Carbajal, La ejecución de este proyecto tuvo lugar en el taller 'EMANUE, especializada en la fabricación de maquinaria industrial y situada en Jr. Bolívar No. 159, Huariaca Paseo. Las pruebas se efectuaron en la provincia de Paseo y en el área de la planta de procesamiento de alimentos de la municipalidad distrital de Yarusyacán. Las pruebas se realizaron a cabo empleando una instalación eléctrica de tipo trifásico. Los objetivos principales del estudio fueron diseñar y construir una extrusora utilizando materiales localmente accesibles y a precios razonables y evaluar una mezcla compuesta por 50% de maíz y 50% de soja eligiendo la matriz adecuada en función del índice de expansión. En el diseño de la extrusora de cocción de alto cizallamiento se tuvieron en cuenta la disposición del tornillo, el diseño de la matriz, la relación D/h de 7,14, el tamaño y número de orificios, y el tipo de producto procesado. Además, se consideró la fuente de alimentación, Esta puede variar entre 5 y 7,5 CV, al igual que la velocidad del tornillo, que era de 321 rpm. Otros factores cruciales incluyen la cantidad de materia prima, el tamaño, la forma y el diseño del producto, así como la texturización o gelatinización de las proteínas o almidones. El tornillo giraba a 321 rpm, el volumen de residencia en la zona de alimentación era de 5,6 cm<sup>3</sup>, el caudal de alimentación era de 1819 cm<sup>3</sup>/min y la relación de expansión ideal era de 3,1. El costo del equipo fue de S/. 9,129.00. La capacidad de producción varía de 60 a 90 kg en la planta piloto y en el laboratorio experimental, ya que algunas pruebas o investigaciones requieren lotes pequeños para evitar un aumento considerable en los gastos de investigación.

## 2. 2 Bases teóricas

### 2. 2. 1 Automatización

El término "automatización" proviene de "autos", que significa "para sí mismo", y "lanzar". Se refiere a la técnica que permite que un sistema funcione de forma automatizada, rápida y eficiente, minimizando la intervención humana mediante el uso de medios artificiales, de manera que el proceso se mantenga en marcha de forma ininterrumpida e independiente. En este sentido, la producción se configura como un ciclo programable y ajustable dentro de un sistema artificial conocido como autómeta, que se ejecuta según un programa propietario o automático. Gracias a este programa, el sistema puede decidir en función de los datos recibidos y el estado de las variables, lo que le permite realizar las tareas asignadas de forma autónoma.

La implementación e integración de sistemas industriales que puedan funcionar de forma autónoma es un componente esencial de la automatización. Esto incluye procedimientos relacionados con la instrumentación, el acondicionamiento de señales, el control y la visualización de variables del sistema.

En respuesta al crecimiento de las áreas de producción y la creciente necesidad de optimización de procesos industriales, se propone como objetivo principal lo siguiente:

- Incrementar la velocidad de producción y la disponibilidad de productos en el menor tiempo posible, a través de un control más eficiente del proceso productivo.
- Optimizar la calidad y la confiabilidad de la producción mediante la estandarización y repetición controlada de los procesos.

- Reforzar la seguridad laboral del equipo de operaciones.
- Reducir los requerimientos de espacio dentro de la planta de producción.

**Figura 1**

*Sistema Automático*



*Nota: Proceso automatizado*

### **2. 2. 2 Objetivos de la Automatización.**

(Automatas programables, 2021) La expansión de las zonas destinadas a la producción y la necesidad constante de incrementar la eficiencia de los procesos industriales en muchos sectores siguen teniendo como objetivos principales:

- Incrementar la eficiencia en los procesos productivos y asegurar una mayor disponibilidad de productos en el menor tiempo posible, a través de un control de producción mejorado.
- La implementación de procedimientos repetibles y estandarizados mejorará la validez y la seguridad de los resultados generados.
- Mejorar la seguridad de los empleados en todas las operaciones.
- Reducir el espacio utilizado en la planta industrial.

### 2. 2. 3 Sistemas de control

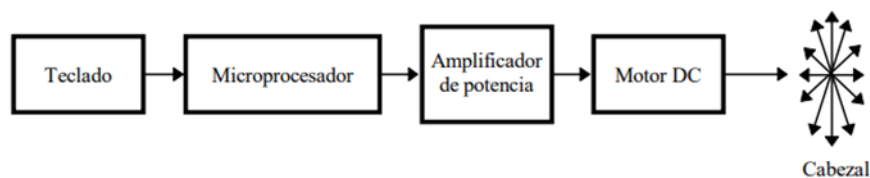
El desarrollo continuo de la ciencia y la ingeniería se ha visto impulsado por desarrollos tanto teóricos como aplicados, lo que hace que el control autónomo sea esencial. Numerosas industrias, como la aeronáutica, la automoción y la medicina, han obtenido importantes beneficios gracias a que el rendimiento eficaz de los sistemas dinámicos ha permitido aumentar la productividad y reducir significativamente el volumen de actividades físicas y rutinarias.

- Sistema de control de lazo abierto

La señal de salida no se monitoriza para ajustar ni generar una señal de control en sistemas de control de enclavamiento abierto. No existe comparación entre la señal de salida obtenida y la señal de referencia de entrada en estos sistemas.

**Figura 4**

*Sistema de control de lazo abierto*



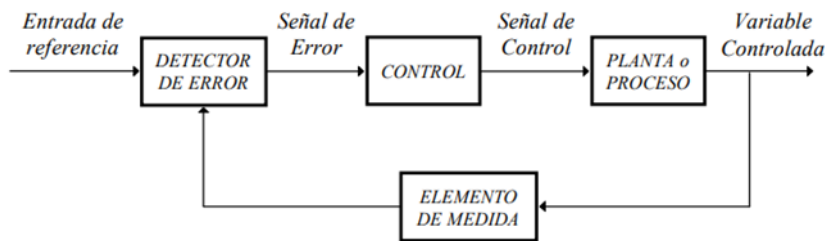
*Nota: Control lazo abierto*

- Sistema de control realimentado o sistema de lazo cerrado

El sistema en cuestión regula la relación que se establece entre el punto de entrada y el punto de salida comparando continuamente ambos y utilizando la diferencia como señal de control.

**Figura 7**

*Sistema de lazo cerrado*



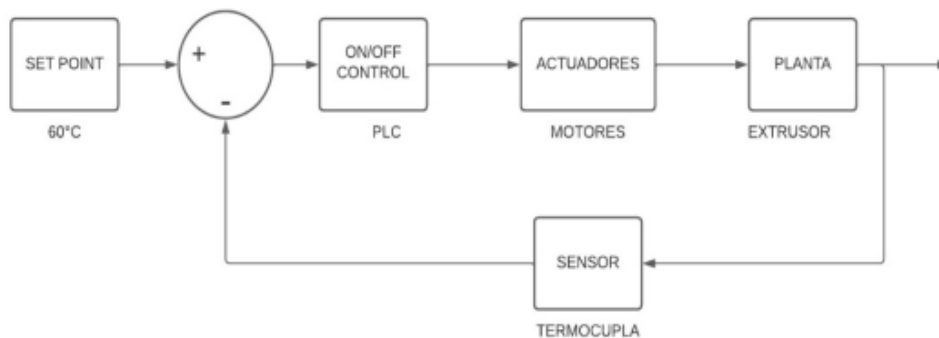
*Nota: Control de lazo cerrado*

### 2. 2. 4 Mecanismo de control de la maquina Extrusora

Implementar mecanismos de control es esencial para llevar a cabo un control de proceso adecuado y garantizar la protección de la fase de potencia. En el caso de la automatización de la máquina de extrusión, se utiliza un control de encendido/apagado basado en la histología. Este tipo de control, a veces conocido como "control de todo o nada", consiste en permitir que una variable oscile dentro de un cierto rango de tolerancia para lograr el comportamiento deseado del sistema (Bolton, 2006).

**Figura 10**

*Lazo de control proceso de extrusión*



*Nota: Proceso de control de extrusión*

La imagen se observa el diagrama de control del sistema de extrusión, que establece el valor de referencia, en este caso a 60 °C, y lo envía a otro punto del sistema. El actor realiza acciones en la planta controlando el encendido y el apagado. A su vez, el sensor registra los



valores de la variable correspondiente y los envía al nodo diferenciador, lo que permite la retroalimentación del sistema y que el controlador tome decisiones sobre la operación del proceso.

### **2. 2. 5 Human machine interface (HMI)**

El HMI es un sistema diseñado para permitir la comunicación e interacción entre el operador y el equipo. Históricamente, estas interfaces se componían de paneles con diversos componentes de control e indicación, como luces piloto, indicadores digitales y analógicos, registradores, perillas, selectores, entre otros, todos conectados directamente a equipos o procesos industriales (Cuenca y León, 2013).

Cuenca y León (2013), es posible diseñar interfaces HMI considerablemente más eficientes y con mayor capacidad, ya que tanto las máquinas como los procesos suelen operar mediante controladores y dispositivos electrónicos con puertos de comunicación integrados. Además, estos permiten una conexión más sencilla y económica al proceso. Algunas de sus principales funciones incluyen:

**Monitoreo:** consiste en la capacidad de registrar y visualizar en tiempo real los datos generados por la instalación. Esta información puede visualizarse como números, texto o gráficos para facilitar su comprensión e interpretación.

**Supervisión:** implica no solo supervisar los datos del proceso, sino también la capacidad de modificar directamente las condiciones operativas desde la computadora. **Alarmas:** se refiere a la capacidad del sistema para reconocer y alertar a los usuarios sobre eventos inusuales

en el proceso, basándose en límites o prioridades previamente establecidos.

**Control:** Esta función utiliza algoritmos para modificar los parámetros del proceso, garantizando que permanezcan dentro de los márgenes definidos con anterioridad.

**Historial:** Permite registrar y visualizar datos a intervalos predeterminados, almacenándolos en archivos. Esta recopilación de información es muy útil para mejorar y ajustar los procesos con mayor precisión.

### Figura 13

*Human Machine Interface.*



*Nota. HMI Fuente: Indiamart.*

### 2. 2. 6 Controladores lógicos programables (PLC)

El propósito del PLC (controlador lógico programable), una herramienta ampliamente utilizada en el entorno industrial, es maximizar la automatización de procesos. Este dispositivo puede gestionar operaciones continuas con alta precisión, controlando factores como la temperatura, la presión y la intensidad de la corriente, entre otros. Además, permite la ejecución sin errores de funciones lógicas, como la temporización. (Guanokuiza Changoluisa, 2017)

El PLC evalúa las señales de entrada y, según su estado, activa o desactiva la producción. Para obtener el resultado deseado, el usuario configura un programa, generalmente mediante software especializado. Los PLC se emplean en una gran variedad de aplicaciones a nivel mundial; de hecho, se utilizan en casi todos los sistemas que requieren control eléctrico. En general, un PLC es un sistema informatizado diseñado para un propósito específico que se utiliza para gestionar y supervisar maquinaria y procesos en entornos industriales de forma instantánea y continua.

Entre sus características más importantes se encuentran:

- Gestionan las señales de entrada y salida de forma segura.
- Permiten la programación en diversos lenguajes compatibles.
- Cuentan con un entorno de usuario accesible que agiliza la comunicación con el usuario.
- Se pueden conectar a sistemas de supervisión.
- Ejecutan continuamente las instrucciones del programa.
- Tienen una memoria dividida en dos mitades.

El lenguaje de programación sirve como medio de comunicación entre el usuario, que configura el programa, y el sistema operativo, que lo interpreta. Su objetivo es permitir la creación de instrucciones secuenciales que la CPU del PLC traduce en comandos digitales para operar maquinaria o procesos. Existen dos tipos de lenguajes:

El lenguaje gráfico más utilizado en programación de automatización se caracteriza por su estructura de escalera. Su interpretación sigue un orden predefinido: comienza en la mitad superior de la izquierda y se desplaza secuencialmente hacia la derecha y luego hacia abajo. (SEIKA,2019)

Este tipo de programación se utiliza mayormente en proyectos de menor escala debido a su estructura compleja y similitud con el lenguaje ensamblador tradicional. (SEIKA, 2019)

### **2. 2. 7 PLC S7-1200**

Siemens (2015) afirma que, en circunstancias típicas, todas las entradas y salidas digitales, así como los análisis, se actualizan de forma sincronizada con el ciclo del sistema mediante una memoria interna conocida como memoria de imagen de proceso. Junto con la información de las placas y módulos de señal, esta memoria almacena el estado instantáneo de las entradas y salidas físicas de la CPU.

- Justo antes de iniciar el programa del usuario, la CPU registra las señales físicas de entrada y las almacena en la memoria de imagen del proceso correspondiente. Esto garantiza que los datos se mantengan consistentes mientras se siguen las instrucciones del programa.

Al ejecutar la lógica de las instrucciones establecidas, la CPU modifica los valores pertinentes en la memoria de imagen del proceso en lugar de enviar los datos directamente a las salidas físicas.

- Una vez finalizada la ejecución del software del usuario, la CPU envía los valores almacenados en la memoria de imagen del proceso a las salidas físicas.

Este procedimiento garantiza una lógica consistente durante todo el ciclo de ejecución, evitando que las salidas físicas fluctúen constantemente debido a posibles cambios repetidos en la memoria de imagen de las salidas.

### – Aspectos positivos de los PLC'S

No todos los casos son iguales ya que dependen en gran parte de la amplia gama de modelos ofrecidos en el mercado y los continuos avances tecnológicos que se incorporan con el tiempo.

Entre los aspectos favorables se pueden mencionar:

- Reducción del tiempo necesario para desarrollar proyectos.
- Capacidad para realizar cambios sin incurrir en costes adicionales de otros componentes.
- Ocupa un espacio muy reducido.
- Reducción de gastos de mano de obra.
- Mantenimiento a bajo coste.
- Si el autómatas resulta inadecuado para un proceso industrial específico, puede reutilizarse en otras máquinas o sistemas de producción.

Unidades de entrada y salida (E/S).

Por lo general, existen dos tipos de entradas y salidas (E/S)::

- Digitales.
- Analógicas.

Las señales digitales de entrada y salida funcionan según un principio binario, lo que significa que operan en estados de codificación o decodificación sin enviar niveles de voltaje intermedios. Estas señales de entrada y salida se controlan individualmente a nivel de bit mediante el programa del usuario.

Las salidas y entradas analógicas pueden tener valores permitidos dentro del margen indicado por el fabricante. Estas son compatibles con convertidores analógico-digitales (A/D) y digital-analógicos (D/A) independientes de la CPU, ya

sea mediante asistencia óptica o mediante una fase de alimentación. Se gestionan a nivel de byte o palabra (8 o 16 bits) en el programa del usuario.

Las entradas y salidas se leen y escriben según el fabricante y modelo, esto significa que sus imágenes pueden ser almacenadas dentro del área de memoria o controladas adecuadamente por instrucciones E/S.

**Figura 16**

*PLC Siemens S7-1200*



*Nota. PLC Siemens S7-1200. (Guanokuiza Changoluisa, 2017)*

### **2. 2. 8 Módulo de entrada analógico**

El módulo de entradas analógicas SM 1231 para el SIMATIC S7-1200 es un dispositivo que permite la adquisición de señales analógicas de hasta 8 canales, con la capacidad de manejar una variedad de rangos de voltaje y corriente para adaptarse a diferentes tipos de sensores y condiciones de medición en aplicaciones industriales.

**Figura 19**

*Módulo de entradas analógicas SM 1231*



*Nota: Modulo de comunicación*

### 2. 2. 9 Medición de temperatura

Una de las mediciones de temperatura más cruciales es la temperatura se usa comúnmente en operaciones industriales, dado que impacta a prácticamente todos los eventos físicos se realizan con una variedad de herramientas.

Las evaluaciones incluyen pirómetros de radiación, termómetros de vidrio, termopares, termómetros ultrasonido, termómetros de vidrio, termómetros de resistencia y termómetros de cristal de silicato de aluminio, entre otros.

#### - Selección de un sensor de temperatura

Según Creus (2010), diversos factores influyen directamente en la elección del sensor, como la temperatura, la precisión, la velocidad de respuesta, la accesibilidad al punto de medición, las condiciones ambientales y el coste. Incluso cuando un determinado tipo de sensor se utiliza con frecuencia en un campo específico, esto no significa que sea la alternativa más adecuada.

Una serie de parámetros, como el nivel de temperatura, la exactitud, la celeridad de respuesta, la accesibilidad a la ubicación de interés, el contexto y la rentabilidad, influirán en la selección del sensor. Incluso cuando un tipo particular de sensor se usa ampliamente en un campo en particular, esto no siempre significa que sea la mejor opción.

**Figura 22**

*La conexión entre el área y el sensor establecida a partir de la experiencia*

Campo	Sensores Tradicionales
Investigación Agrícola	Termistor, Termopar Tipo T, Semiconductor
Automóvil	Termistor, Pt100, Bimetálico
Procesos Químicos y de los Materiales	Pt100, Termopar
Criogénicos	Resistencia de Óxido de Metal
Investigación Ambiental	Termistor, Termopar Tipo T, Pt100, Semiconductor
Industria General	Pt100
Educación, Pasatiempos	Semiconductor, Termistor, Termopar Tipo T, Pintura
Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado	Ni1000, Termistor, Pt100, Pintura
En Productos Manufacturados	Semiconductor, Termistor, Pt100
Metallúrgica	Termopar Tipo K o N

*Nota: Sensores de uso en la industria*

### - Termómetros de resistencia

Las sondas de resistencia se utilizan para controlar la temperatura en función de cómo cambia esta resistencia con la temperatura. Creus (2010)

El aparato está formado por un cable conductor en espiral que viaja mediante láminas recubiertas de sustancia aislante. (Creus, 2010)

El coeficiente de resistencia térmica del cable conductor, que muestra cómo cambia la impedancia en ohmios con cada unidad de temperatura de cambio de temperatura, es lo que lo define. (Creus, 2010)

El vínculo entre estos parámetros se muestra en la próxima expresión:

$$R_t = R_o (1 + \alpha t) \quad (1)$$

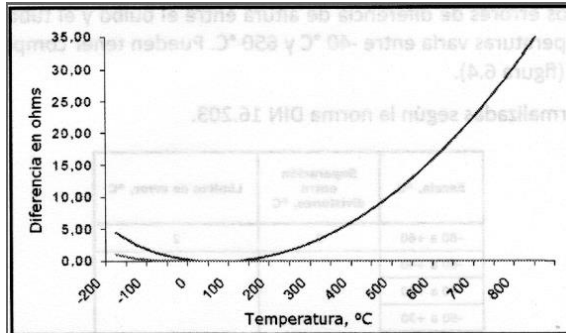
$R_o$ : Impedancia en ohmios a 0 °C

$R_t$ : Muestra la resistencia en ohmios a una temperatura de t °C.

$\alpha$ : El coeficiente de temperatura, cuyo valor oscila entre 0 °C y 100 °C, adopta un valor de 0,003850  $\Omega/(\Omega/^\circ\text{C})$  de acuerdo con la Escala Internacional de Temperaturas Prácticas (IPTS-68).

**Figura 25**

*Relación entre el valor real de la resistencia*



*Nota: Curva característica de la resistencia*

**- Características de sensores de resistencia**

**Figura 28**

*Características de sondas de resistencia*

Características de sondas de resistencia						
Elemento	Intervalo útil de temperaturas, °C	Resistencia básica	Sensibilidad (Ω/°C de 0° a 100 °C)	Coefficiente, Ω/Ω x °C	Ventajas	Desventajas
Platino	-260 a 850 °C (-436 a 1562 °F)	100 Ω a 0 °C 1000 Ω a 0 °C	0,39 3,90	0,0375 a 0,003927	Mayor intervalo Mejor estabilidad Buena linealidad	Coste
Cobre	-100 a 260 °C (-148 a 500 °F)	10 Ω a 25 °C	0,04	0,00427	Buena linealidad	Baja resistividad
Niquel	-100 a 260 °C (-148 a 500 °F)	100 Ω a 0 °C 120 Ω a 0 °C	0,62 0,81	0,00618 a 0,00672	Bajo coste Alta sensibilidad	Falta de linealidad, variaciones coeficiente de resistencia
Niquel-Hierro	-100 a 204 °C (-148 a 400 °F)	604 Ω a 0 °C 1000 Ω a 70 °F 1000 Ω a 70 °F	3,13 4,79 9,58	0,00519 a 0,00527	Bajo coste Muy alta sensibilidad	Relación reducida R <sub>100</sub> /R <sub>0</sub>

*Nota: Características de los materiales*

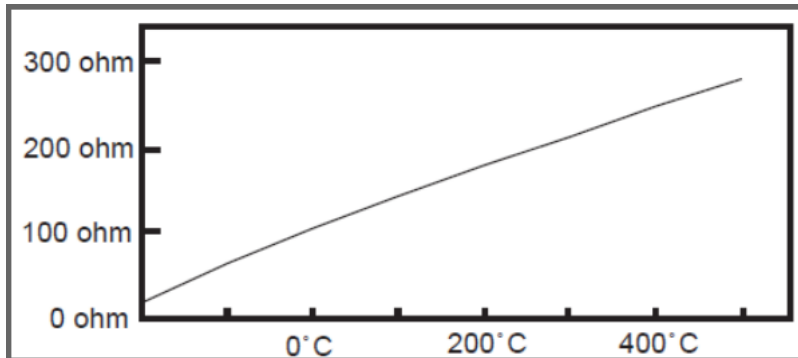
**2. 2. 10 Sensor PT100**

Un sensor para medir la temperatura es el Pt100. Se ha fabricado utilizando alambre conductor de platino que presenta una resistencia a 0 °C de 100 Ω. A medida que la temperatura se incrementa, esta resistencia igualmente crece.

Junto con las características del platino, la resistencia aumenta de manera constante en lugar de linealmente, lo que permite calcular con exactitud la temperatura relevante empleando tablas de consulta. (Arian Control & Instrumentación, sf)

**Figura 31**

*Pt100 es una clase específica de RTD*



*Nota: Curva de operación de un pt100*

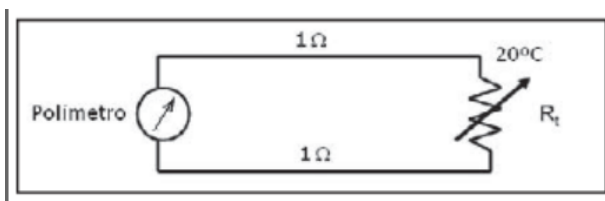
Los Pt100 utilizados en la industria se compran frecuentemente encapsulados, es decir, al interior de un cilindro de acero inoxidable. La terminación eléctrica de los cables, que está protegida por una caja metálica circular, está en un extremo, mientras que el elemento sensible está en el otro. (Arian Control & Instrumentación, sf)

La El método más básico para medir la temperatura de un proceso con un sensor de resistividad es pasar una corriente eléctrica a través de él.

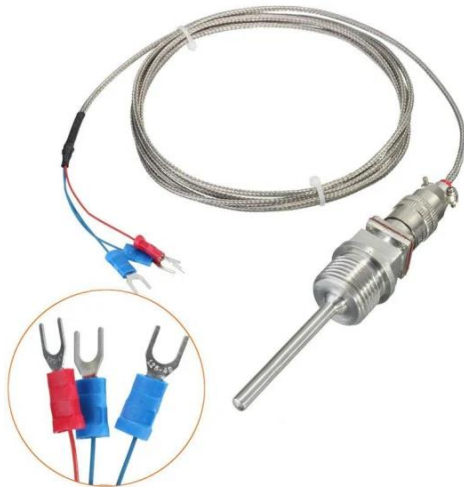
provocando una caída de voltaje. Esto genera calor en la sonda, elevando su temperatura y por lo tanto su resistencia. Asimismo, las resistencias de enlace entre el medidor de polímero y la sonda influyen en la precisión al medir la oposición ofrecida por ella misma. (Creus, 2010).

**Figura 34**

*Método sencillo para determinar la temperatura*



*Nota: Diagrama de conexión*

**Figura 37***PT100 Sensor de temperatura industrial**Nota: Sensor pt100*

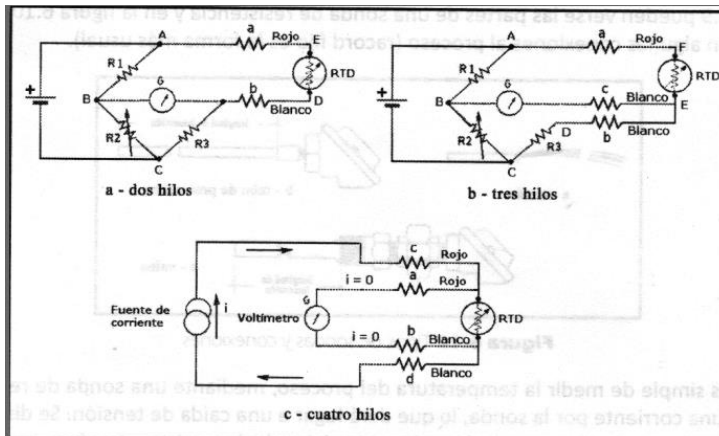
Se utilizan circuitos digitales o puentes tradicionales de Wheatstone para enlazar las sondas de resistencia con el fin de medir la resistencia.

Un rectángulo de resistencias con sus extremos opuestos acoplados a un galvanómetro y una fuente de voltaje constante forma un puente de Wheatstone. Se dice que el puente está equilibrado cuando la variación de una resistencia (la que está en contacto con el proceso) hace que el galvanómetro registre corriente cero.

Dependiendo de cómo se conecten los cables de la sonda resistivas hacia el puente Wheatstone, se puede configurar en configuraciones de dos, tres o cuatro hilos. (Creus, 2010)

**Figura 40**

*Puente de Wheatstone para sondas de resistencia.*



*Nota: Formas de conexionado*

**Figura 43**

*Transmisor de temperatura de 4-20mA para PT100,*



*Nota: Transmisor de temperatura*

### 2. 2. 11 Relé de estado solido

Se emplean junto con reguladores de temperatura para regular calentadores potentes. Debido a su diseño generalmente abierto y a la falta de partes móviles, estos aparatos SPST (Single Pole Single Throw) pueden funcionar durante millones de ciclos. Al igual que los conectores móviles en un interruptor mecánico, un SSR (relé de estado sólido) inicia la corriente de carga alterna en respuesta a una señal de control. En el momento de cambio de voltaje cero del proceso de CA, se produce la activación o "conmutación". Debido a la falta de ruido eléctrico notable producido por este modo de operación, los SSR

son perfectos para entornos donde los componentes electrónicos son susceptibles a las interferencias electromagnéticas.

**Figura 46**

*Relé de estado solido*



*Nota: Relé de estado solido*

### **2. 2. 12 Resistencias de abrazadera hermética**

El níquel es la fuente principal de las resistencias, también conocidas como niquelinas. Estas hacen circular corriente eléctrica que se convierte en calor según la ley de Joule. Estas resistencias eléctricas pueden alcanzar temperaturas de hasta 400 grados Celsius y su potencia varía de 50 W a 5 kW.

Según Zumba Aldaz (2017), las niquelinas son componentes en forma de abrazadera ubicados en secciones a lo largo del barril del extrusor, cuya finalidad es calentar el barril hasta alcanzar la temperatura establecida para procesar la materia prima.

**Figura 49**

*Resistencia de abrazadera*



*Nota. Resistencia de abrazadera. (Julio Martinez Naya S.A., 2018)*

### 2. 2. 13 Sensor de corriente CA trifásico

El principio de transformación es la base del funcionamiento del transformador de corriente (TC), que reduce una corriente primaria elevada a una corriente secundaria de menor magnitud. Se utiliza frecuentemente en medidores de energía de estado sólido diseñados para soportar altas temperaturas. Al ser pasivo, este dispositivo no requiere circuitos de control adicionales. Además, puede medir temperaturas muy altas con un consumo mínimo de energía. Sin embargo, si la corriente primaria es demasiado alta o si existe un componente de corriente continua significativo, el núcleo del material ferromagnético puede saturarse. Al magnetizarse, el núcleo puede presentar histología, lo que puede afectar su precisión y reducir la probabilidad de desmagnetización.

#### Figura 52

*Sensor de corriente trifásico*



*Nota. Transmisor AC0-5A 10A 40A entrada 4-20mA 0-10V*

### 2. 2. 14 Extrusión y partes del extrusor

#### - Extrusión

El proceso de extrusión implica empujar una sustancia comestible a través de un troquel mientras está sometida a altas temperaturas, presión y fuerzas de cizallamiento. Según Riaz (2012), los principales ingredientes utilizados en este proceso son almidones y proteínas, que se plastifican

mediante la adición de agua, lo que facilita la textura adecuada del producto final. Este proceso comprende varias etapas, Estos procesos comprenden desde la aglomeración y mezcla de ingredientes hasta la modificación estructural, como la gelatinización, desnaturalización proteica, y el moldeado final.

Existen dos tipos diferentes de extrusión en la industria alimentaria: en frío y en caliente.

- Según Colina (2013), la extrusión en caliente: es un proceso termomecánico que combina la aplicación de energía térmica y mecánica al alimento, sometiéndolo a altas presiones de hasta 25 MPa y temperaturas que fluctúan entre 100 y 180 °C.

la combinación de calor y esfuerzo mecánico durante el proceso de extrusión permite transformaciones como la gelatinización del almidón, la desnaturalización de proteínas, la inactivación de enzimas que afectan la salud, la eliminación de factores antinutricionales y una disminución significativa o completa de microorganismos tras salir de la extrusora. Sin embargo, este tratamiento también puede provocar pérdida de vitaminas, reacciones enzimáticas indeseables y la aparición de olores y sabores que alteran la apariencia y el sabor del producto final. Este breve proceso térmico, que dura entre 10 y 60 segundos, se conoce como tratamiento HTST (alta temperatura, corto tiempo). Estas extrusoras se utilizan típicamente con alimentos con alto coeficiente de fricción y bajo contenido de humedad Justo y Pérez (2006).

- La extrusión en frío: es un proceso que utiliza únicamente presión sin elevar la temperatura del producto. Este método se utiliza principalmente

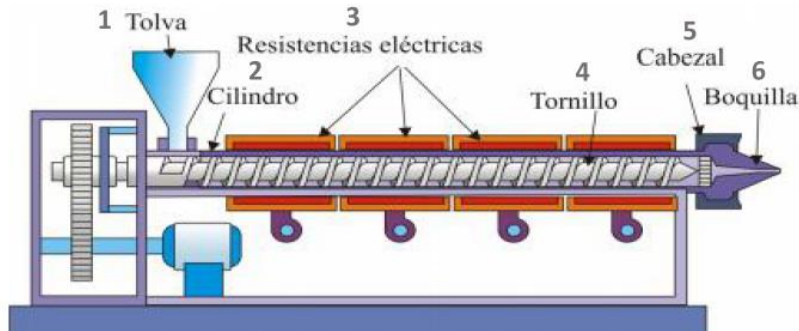


en la producción de alimentos que no requieren cocción, como salchichas, macarrones y algunas variedades de pasta utilizadas en cocina y repostería.

En algunas aplicaciones, los extrusores —que pueden utilizarse tanto para extrusión en frío como en caliente— cuentan con una boquilla única que permite la inyección de diversos tipos de relleno en el centro de la masa mientras la boquilla se atrae. Este proceso, conocido como coextrusión, se utiliza para elaborar pasteles, caramelos y otros productos de repostería a base de relleno (Colina, 2013).

Los procesos de extrusión presentan problemas de control debido a la interacción simultánea de fenómenos como la transferencia de material, la energía y la capacidad de movimiento, así como a complejas modificaciones físico-químicas que determinan las características del producto final. A pesar de esta complejidad, este método presenta ventajas significativas, como la versatilidad en la producción de diferentes productos difíciles de desarrollar con otros procesos, bajos costos operativos, alta eficiencia de producción y productos de alta calidad. (Guy, 2002).

En los siguientes apartados se detallan los componentes que conforman un extrusor y se identifican las variables esenciales que intervienen en el control del proceso.

**Figura 55***Partes de la máquina de extrusión*

*Nota. Adaptado de Partes de la máquina de extrusor, por Beltrán y Marcilla, 2012.*

1. Tolva nutricional: Asegura una ingesta consistente y uniforme de ingredientes, que normalmente se encuentran en forma de polvo.
2. Cilindro: Contiene el tornillo en su interior, el cual puede tener una superficie lisa y rugosa, superficie o superficie lisa.
3. Se utilizan resistencias eléctricas para generar el calor necesario dentro del aparato. Utilizado para generar el calor necesario en el interior aparato.
4. Una de las partes esenciales es el soplete o husillo, que permite transportar, mezclar, calentar y fundir el material.
5. La parte encargada de sostener la boquilla es Cabezal.
6. Boquilla: es la encargada de dar forma al material procesado, con diversos diseños que permiten la elaboración de variedad de productos (Beltrán y Marcilla, 2012).

Una extrusora se compone de cuatro zonas principales que indican las etapas del proceso donde se añaden los materiales: la zona de alimentación, la zona de transición, la zona de recubrimiento y, por último, las fases de moldeo y corte.

### Zonas del extrusor

- **Zona de alimentación:** En esta etapa se ubica la tolva y está conectada a un cilindro que le permite descargar ingredientes o materiales hacia las hélices del tornillo.

Se utiliza una velocidad ajustable para asegurar que el material se desplace de forma continua. En algunas máquinas de extrusión, se utiliza un preacondicionador para estabilizar la temperatura y la humedad de las partículas antes de entrar en el proceso principal. Obtener una mezcla homogénea es esencial, ya que mejora la absorción del agua y el vapor dirigidos al cabezal y facilita el movimiento del material. Durante esta fase, el aire queda atrapado y el material adquiere una textura compacta que, al comprimirse y expulsarse, elimina cualquier vacío dentro de la cámara o cilindro.

- **Zona de transición o compresión:** Durante esta fase, la compresión ocurre dentro de los canales de flujo del extrusor y la cantidad de material acumulado está influenciada por el ángulo de inclinación del tornillo. La cantidad de cizalla y energía mecánica aplicada a la masa aumenta, lo que también provoca un aumento de temperatura. A medida que la mezcla avanza por la tortilla, se solidifica uniformemente, dando como resultado una masa compacta.
- **Zona de cocción:** Debido al rápido aumento de temperatura y presión, la mezcla de ingredientes se forma y plastifica durante esta fase. La temperatura y la viscosidad del material, así como el diseño del tornillo del extrusor, influyen en la velocidad de formación del fluido de la mezcla.

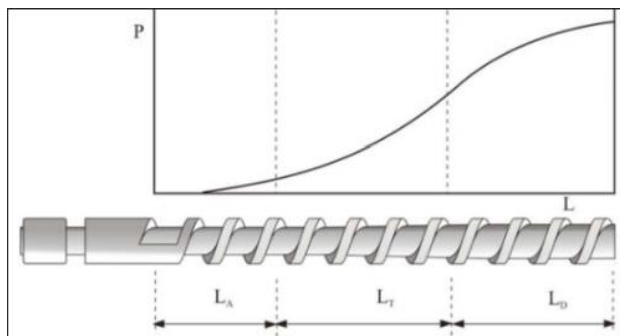
- **Zona de moldeado y corte:** Este es un paso crucial ya que el material sufre un flujo continuo, se compacta, se homogeneiza y finalmente pasa por la boquilla bajo presión continua.

El producto se corta mediante cuchillas colocadas junto a la boquilla, y el tamaño final dependerá tanto de la velocidad de rotación de la cortadora, que se expresa en RPM, como de las propiedades del material procesado (Nieves, 2020).

La estructura de las zonas varía según el diseño del tornillo, según se observa en la siguiente imagen. Este diseño puede modificarse para adaptarse a las necesidades del producto deseado. A continuación, se describen las numerosas zonas distribuidas a lo largo del tornillo. Junto con las zonas de moldeado y corte, la zona de enfriamiento incorpora una zona destinada a dosificar y definir la velocidad de salida del material.

**Figura 58**

*Zonas dentro de un extrusor*



Nota: Basado en las zonas de una extrusora, según Beltrán y Marcilla (2012).

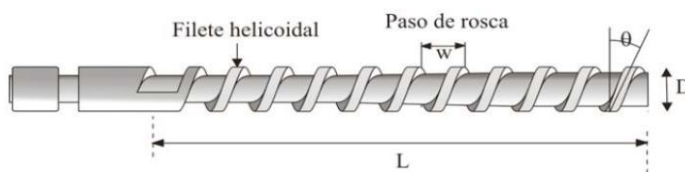
La Figura 20 ilustra cómo, a medida que el material avanza, la presión también aumenta, alcanzando su máximo en la zona dosificada. Esto se debe a la fuerza que empuja el material para que se vuelva uniforme y predeterminado y pueda ser impulsado hacia la boquilla.

Es fundamental tener en cuenta que, antes de comenzar el diseño de un extrusor, se debe determinar el tipo de producto a procesar, ya que esto determinará la configuración adecuada del tornillo. Por ello, es fundamental considerar todas las variables relacionadas con este componente (Beltrán y Marcilla, 2012).

## 2. 2. 15 Partes del tornillo de un extrusor

Figura 61

*Partes del tornillo de un extrusor*



*Nota. Tomado como referencia el tornillo de una extrusora, por Beltrán y Marcilla, 2012.*

1. Las estructuras que se extienden de un extremo al otro del husillo se llaman álabes o filetes, y son las principales responsables de impulsar el material a través del extrusor. Sus dimensiones y geometría influyen directamente en el tipo de material que se puede procesar, así como en el grado de mezcla que se puede lograr en la masa al salir del equipo.
2. La distancia entre un álabe y el siguiente se conoce como "paso de rosca".
3. Profundidad del filete en la zona de alimentación: Es la distancia desde la punta del filete hasta el centro o raíz del husillo. Las limas de esta sección son especialmente profundas para permitir el movimiento eficiente de una amplia masa de material que se introduce al extrusor, incluyendo el aire atrapado entre los sólidos y el material no funcional.
4. Profundidad del filete en la zona de dosificación: Generalmente, la profundidad del filete en esta zona es significativamente menor que en la

sección de alimentación. Esto resulta en una disminución del volumen disponible para el transporte del material, lo que provoca su compresión. Esta compresión es ventajosa porque promueve la homogeneidad del material y ayuda a eliminar el aire presente en la materia prima.

5. Relación de compresión: Se define como la relación entre la profundidad del filete en la entrada y salida del sistema, la cual varía en función del material a procesar. La variación en las dimensiones de las alabeas permite ajustar el proceso en función de las características del insumo, y su valor suele ser superior a la unidad, llegando en ocasiones a los 4,5 cm.
6. Longitud: Este factor es significativo, ya que afecta directamente el rendimiento y los costos de la máquina. Al aumentar la longitud del husillo y, en consecuencia, la del extrusor, se mejora la capacidad de funcionamiento del material, lo que permite que el equipo produzca más.
7. Es una dimensión crucial que determina el rendimiento productivo de la máquina y suele aumentar proporcionalmente con la longitud del equipo. La capacidad de producción (medida en kilogramos por hora) suele ser mayor a mayores diámetros. Sin embargo, incrementar esta medida conlleva igualmente extender la longitud del husillo, ya que una mayor productividad requiere una mayor capacidad de fusión del material (Gutiérrez y Bornacelli, 2008).

#### - **Boquillas**

Su función es moldear el material y facilitar su expansión. Para ello, existen diversos diseños que permiten la adquisición de diversos tipos de productos.

El material se mueve a través de la boquilla de una manera similar a la que ocurre en el canal del tornillo, siguiendo un flujo de tipo lámina. En la mayoría de los casos, este flujo provoca la adhesión del material a las superficies internas de la boquilla, creando un gradiente de velocidad. La velocidad en este gradiente es mayor en el centro del flujo y disminuye hasta alcanzar cero (generalmente) en las paredes. La viscosidad del material, afectada por la fuerza cortical, y la tasa de corte, establecida por este gradiente de velocidad, determinan la resistencia al flujo. Esta resistencia está relacionada con la geometría del sistema y la velocidad del flujo, ya que las boquillas más pequeñas aumentan el esfuerzo cortante y, por lo tanto, la resistencia al flujo.

Existen varios tipos de boquillas, que varían según el formato del producto deseado. Finalmente, se presentan algunos ejemplos.

### Figura 64

*Componente de boquilla para equipo extrusor.*



*Nota. Tomado del modelo de dado, por Riaz (2012).*

#### - **Proceso de extrusión**

Las formas de flujo presentes deben tenerse en cuenta al analizar el proceso de extrusión, ya que son cruciales para el movimiento del material viscoso a lo largo del tornillo. Para simplificar, estos flujos pueden dividirse en tres categorías principales: El arrastre, también conocido como flujo de fricción (QD), es un componente vital para el transporte del material desde la tolva de alimentación hasta la boquilla. Se produce por la fricción entre el material, el

tornillo y las paredes del cilindro, El flujo a presión o flujo inverso (QP) actúa en sentido opuesto al flujo de arrastre y es causado por la diferencia de presión entre la tolva y el cabezal de la máquina, siendo esta presión generada por la resistencia que ofrece la boquilla. Por último, pero no menos importante, el gradiente de presión a lo largo del tornillo provoca fugas o pérdidas de flujo, que también se oponen al flujo de arrastre, en el área entre el cilindro y la rosca del tornillo.

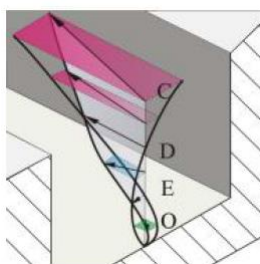
### 2. 2. 16 Flujo total

Tanto el flujo de arrastre como el flujo inducido por presión se presentan en ambas direcciones. La boquilla crea el flujo de presión en la dirección del canal (Z), mientras que estas superficies lo generan en la dirección de las paredes del filete. La combinación de los flujos en las direcciones X y Z produce el flujo total.

La siguiente figura muestra las etapas del proceso por el que pasa el material durante la extrusión.

**Figura 67**

*Proceso de extrusión*



*Nota. Tomado del proceso de extrusión por Beltrán y Marcilla, 2012.*

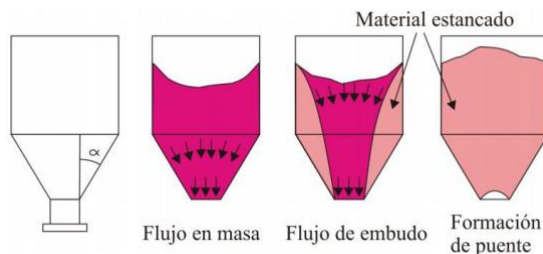
Tras analizar los fluidos que intervienen en el proceso de extrusión, se describirá cada función que se lleva a cabo durante el mismo. Estas funciones incluyen el transporte de sólidos en la zona de alimentación, su traslado dentro del cilindro en la zona de transición, la cocción, el moldeo y el corte.

### Transporte de sólidos (zona de alimentación)

En general, el movimiento de sólidos en la tolva se produce mediante un flujo de partículas basado en su gravedad. Sin embargo, también puede presentar un flujo de masa, como se observa en la figura 24, lo que evita la formación de zonas estacionarias y asegura que todo el material se mueva uniformemente hacia la salida.

**Figura 70**

*Desplazamiento de material en una tolva de*



*Nota: Beltrán and Marcilla (2012) modified "Transporte y cizallamiento del tornillo."*

El transporte de sólidos en la tolva se caracteriza por una serie de factores que afectan su comportamiento, entre ellos se encuentran los siguientes:

### Transporte de sólidos en el cilindro

Una vez que el material sólido entra en el canal del extrusor, el transporte deja de depender de la gravedad y se convierte en un transporte de arrastre. Este flujo ocurre inmediatamente debajo de la tolva en un recorrido relativamente corto a lo largo del tornillo. En este proceso, el movimiento del material hacia la extrusión es impulsado por la fricción ejercida por la superficie del cilindro, mientras que la fricción en la superficie del tornillo actúa como una fuerza que se opone al desplazamiento.

Una opción es reducir la temperatura del cilindro o de la zona de alimentación para aumentar el coeficiente de fricción. Otra opción es utilizar



### **Moldeado y corte**

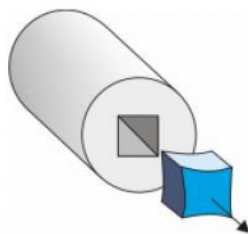
En general, la boquilla determina la forma que adoptará el producto final. A pesar de ello, el material sufre diversas deformaciones como resultado de cambios en su entorno, como la disminución de la presión, la interrupción del esfuerzo cortical y el enfriamiento progresivo.

### **Enfriamiento**

Cuando el material fundido se enfría, se prueba un dispositivo que aumenta su densidad y disminuye su volumen. Esta contracción rara vez es uniforme, ya que puede haber una diferencia significativa en las velocidades de enfriamiento de las zonas interna y superficial en las secciones más gruesas. La Figura 27 muestra cómo una pieza con sección cuadrada puede deformarse como resultado de estas variaciones de enfriamiento (Beltrán y Marcilla, 2012).

#### **Figura 79**

*Contracción debida al enfriamiento de un material de sección*



*Nota. Adaptado de contracción debida al enfriamiento de un material por Beltrán y Marcilla, 2012.*

### **2. 2. 17 Variables en el proceso de extrusión.**

#### **– Preacondicionamiento**

Para lograr una homogeneización adecuada, es fundamental incorporar un sistema de preacondicionamiento de las materias primas antes de su entrada al tornillo de la extrusora. Además, este proceso ayuda a aumentar la capacidad operativa del sistema de extrusión y/o a reducir el consumo de energía mecánica.



El preacondicionamiento consiste en mezclar los ingredientes y añadirles agua o vapor para aumentar su humedad. Además, puede incluirse un proceso de precálculo que permite la precocción parcial de los componentes. El producto final es una mezcla prehumidificada, precalcificada y parcialmente coagulada que optimiza el comportamiento de cada ingrediente en el producto terminado y favorece un menor consumo de energía durante la extrusión.

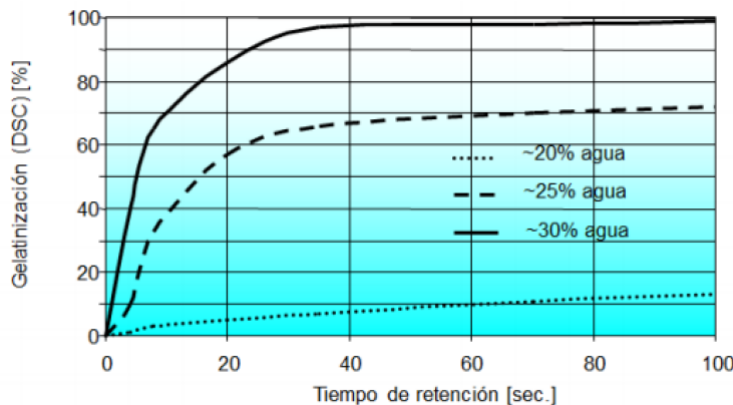
El tamaño de las partículas resultantes de la molienda es crucial, ya que cuanto más pequeñas sean, mayor será la superficie disponible para que el vapor opere eficazmente. Esto permite:

1. generando una mayor proporción de partículas a través de la condensación del vapor.
2. suministrando a la mezcla una cantidad adecuada de calor.
3. Mantener la temperatura interna lo suficientemente alta durante el tiempo apropiado ayudará a que las almendras se gelatinicen, las proteínas se desnaturalicen y los componentes se unan adecuadamente.

Dado que cada producto requiere condiciones específicas, las variables termodinámicas involucradas en el proceso de acondicionamiento, como la humedad, la temperatura, el tiempo de residencia y la presión de vapor de la mezcla, varían según el tipo de alimento que se esté elaborando. La Figura 22 ilustra los niveles de prehumidificación del 20 %, 25 % y 30 % utilizados durante el tratamiento de gelatinización térmica del almidón de maíz, determinados por la diferencia en las calorías del barril según la duración de la operación del preacondicionador (Córdoba, 2017).

**Figura 82**

*Influencia del agua sobre el proceso de Preacondicionamiento*



*Nota. Adaptado de influencia del agua sobre el proceso de preacondicionamiento por Córdoba, 2017.*

La Figura 28 muestra que cuando la mezcla contiene 30 % de agua y se procesa durante 25 segundos, se alcanza un mayor grado de gelatinización. Esto se debe a que, en mezclas con baja humedad utilizadas en procesos de cocción por extrusión, las interacciones físicas iniciales resultan en una pérdida significativa de energía mecánica y de fricción. Esta generación de energía interna es suficiente para cocinar el arroz. La alta velocidad de calentamiento en sistemas con bajo contenido de humedad permite alcanzar temperaturas de hasta 150 °C sin necesidad de añadir calor externo a fórmulas con hasta un 25 % de humedad. Al añadir ingredientes como el agua, se reducen las interacciones que ocurren durante la plastificación de los polímeros en su segundo estado, lo que les permite pasar de un estado sólido a uno más fluido y plástico. Debido al mayor nivel de humedad, al aumentar la cantidad de agua, se libera menos energía mecánica y se transfiere menos energía al sistema.

El agua hidrata y solvata tanto el almidón como los polímeros proteicos durante el proceso de cocción por extrusión de alimentos y piensos. Cuando el contenido de humedad supera el 10 %, hay suficiente agua para que los

polímeros se separen y se desplacen entre sí, lo que provoca un cambio en la estructura física del material, de un estado vítreo a uno con comportamiento viscoso y elástico. Debido al intenso cizallamiento del material, el tornillo consume una cantidad significativa de energía a este nivel de humedad, lo que provoca un rápido aumento de la temperatura de la masa. Durante este proceso, el extrusor también descompone los polímeros mediante una combinación de calor y esfuerzo mecánico.

#### – **Configuración del tornillo**

Cuanto más tiempo permanezca el material primario dentro del extrusor, más gelatinizado estará el almidón; esta duración está controlada por la posición del tornillo en el aparato. Tanto el eje helicoidal como la superficie interna del extrusor frecuentemente presentan ranuras, lo que evita el deslizamiento y propicia que el material primario se adhiera con mayor fuerza a las superficies internas del equipo (Córdoba, 2017).

#### – **Temperatura**

El calor utilizado a lo largo del procedimiento de extrusión tiene un impacto significativo en las variaciones que experimentan las propiedades físico-químicas de los productos finales. Como resultado del proceso de dextrinización del almidón, las almidonas degradadas están formadas por moléculas de menor peso molecular (Gomide, 2017).

La temperatura aumenta hasta un punto durante la extrusión donde la viscosidad aumenta significativamente, lo que indica el inicio de la expansión de los gránulos de almendra. Cuando las harinas presentan una temperatura de unificación más alta durante este proceso, esto indica una representa mejora en



la capacidad de retención hídrica y en la predisposición a la gelatinización (Dussan, Hurtado y Camacho, 2019).

### – **Tiempo**

Es fundamental mantener un tiempo de residencia corto en los procesos de cocción intensa utilizados en productos expandidos. Este tiempo suele durar solo unos segundos en extrusoras con cilindros cortos; incluso en extrusoras más largas, la exposición del producto a altas fuerzas de cizallamiento es limitada.

La mayor parte del tiempo transcurrido dentro del extrusor se destina a garantizar que la humedad se mezcle y absorba adecuadamente. Este tiempo puede variar desde unos pocos segundos hasta aproximadamente uno o dos minutos (Gomide, 2017).

### – **Granulometría del producto**

En la industria de las pastas alimenticias, conocer el tamaño de partícula de las harinas es esencial ya que garantiza la uniformidad y aumenta la productividad durante el desarrollo del producto.

Una harina con granulometría homogénea ayuda a mejorar las cualidades sensoriales del producto final, como su textura, sabor y apariencia, porque permite una absorción uniforme de agua y promueve una consistencia y cocción uniforme en todo el producto (Dussan, Hurtado y Camacho, 2019).

Se ha determinado que el tamaño de partícula afecta directamente el grado de gelatinización. En el estudio de Ortega y Bravo (2017), que evaluó varios métodos de extrusión con arroz, quinua y chíá, se demostró que la gelatinización del almidón dentro del extrusor fue significativa, alcanzando valores entre el 72 % y el 98 %. Además, se observaron diferencias significativas

entre las granulometrías evaluadas, destacando que la más delgada, de 0,125 mm, presentó los mayores porcentajes de gelatinización.

Se ha demostrado que las partículas más grandes ralentizan el proceso de gelatinización hasta casi el punto de separación, mientras que las partículas más pequeñas gelatinizan rápidamente y producen menos viscosidad en el fluido. Esta situación es inapropiada, ya que puede provocar la fusión del producto durante el transporte del barril (Vílchez, Guevara y Encina, 2012).

Además, en el estudio realizado por Gomide (2017), se evaluaron dos tamaños de granulometría: 1,2 mm y 0,8 mm. Los resultados mostraron que el uso de la granulometría más delgada de 0,8 mm produjo una mejor apariencia del producto, como se muestra en la figura 23.

#### Figura 85

*Efecto de la granulometría*



*Nota. Adaptado de efecto de la granulometría por Gomide, 2017.*

#### – Ingredientes base utilizados en la cocción por extrusión

Los alimentos elaborados mediante procesos de extrusión se elaboran principalmente a partir de biopolímeros naturales presentes en diversas materias primas, como cáscaras de cereales y endospermo tuberculoso, así como legumbres, semillas oleaginosas y otros recursos con alto contenido proteico. Si bien las harinas de trigo y maíz son las más utilizadas, también se utilizan otros ingredientes como arroz, papa, cebada, avena, sorgo, centeno, yuca y tapioca.



Estas materias primas, que se distinguen típicamente por su alto contenido en almidón, se someten a un proceso particular dentro del proceso de extrusión, que se describe a continuación:

#### Proceso de transformación de las materias primas

1. Los componentes del polvo se combinan con agua y se trasladan a la zona de compresión.
2. La mezcla de polvo se comprime hasta alcanzar una densidad de 1 g/mL, aplicando presiones de entre 5 y 10 bares.
3. El calentamiento del material se produce por la fricción mecánica del motor y la energía suministrada por el cilindro.
4. Las moléculas de almidón y proteína comienzan a funcionar, adquiriendo una textura suave.
5. Estos gránulos se comprimen hasta que adquieren una estructura densa.
6. Finalmente, los polímeros de almidón y proteína se dispersan y se descomponen, dejando una composición continua.
7. En estado continuo, la población de almidón crece gracias a las burbujas de vapor de agua hasta su punto de ruptura. La desnaturalización de las proteínas da lugar a la formación de una red tridimensional que encierra el almidón.
8. Las paredes celulares del polímero de almidón se endurecen y sobreviven a medida que el material se enfría, estabilizando así la estructura del producto afectado por la extrusión.

9. A medida que disminuye el contenido de humedad, los polímeros de almidón adquieren una textura vítrea, dando lugar a un producto duradero y quebradizo que también puede lograrse utilizando proteínas.

A continuación, se muestra en la Tabla 5 una lista de los materiales primarios más frecuentemente utilizados en el proceso de extrusión dentro de la industria alimentaria.

### Figura 88

#### *Materias primas y su uso en extrusión*

Clase	Tipo de producto	Fuentes de almidón
Cereales de desayuno	Copos de maíz	Maíz
	Copos multigranos	Trigo, maíz, arroz, avena
	Copos de fibra alta	Maíz, trigo, arroz
	Arroz crujiente	Arroz
	Avena hinchada	Avena
Aperitivos	Barritas de patata	Patata, maíz
	Aros de patata	Patata
	Granos hinchados o rizados	Maíz
	Inflados	Trigo, patata, maíz
	Galleta de gamba	Trigo, arroz
	Productos intermedios	Maíz, trigo, patata, arroz
	Maíz frito mexicano	Maíz
	Fritos estilo mexicano	Trigo, patata
Bollos	Pan aplastado	Trigo, maíz, arroz, yuca
Alimento para animales de compañía	Formas secas para perros y gatos	Trigo, maíz, arroz
	Bocados húmedos	Trigo
	Deleites secos	Trigo, maíz
Pastas	Fideos, espaguetis, raviolis, etc.	Sémola de trigo
Piensos para peces	Flotantes y hundidos para peces	Trigo
	Tipos de hundidos para gambas	Trigo

*Nota. Adaptado y modificado de Productos basados en almidón por Guy, 2002.*

Es importante señalar que cada uno de los productos anteriormente mencionados pueden ser elaborados utilizando fuentes proteicas, ya sea adicionando proteínas o utilizando ingredientes base ricos en proteínas como soya, garbanzo, chícharo, entre otros.

*Se describen a continuación las especificaciones de los materiales de partida empleados en esta operación:*

### – Almidón

En las plantas, el almidón, un biopolímero, actúa como reserva energética y nutricional. Está compuesto por dos tipos de polisacáridos: la amilosa, que se distingue por su estructura lineal de moléculas de glucosa unidas por  $\alpha$ -D (1,4), y la amilopectina, que presenta una estructura ramificada con enlaces  $\alpha$ -(1,4) y  $\alpha$ -(1,6) que producen ramificaciones aproximadamente cada 15 a 25 unidades de glucosa a lo largo de su cadena principal.

La amilopectina constituye el 75 % de la mayoría de las almidonas, mientras que la amilosa representa aproximadamente el 25 %. Se cree que la cantidad mínima de almidón necesaria para lograr una buena expansión se encuentra entre el 60 % y el 70 %. Numerosos estudios demuestran que, si bien un alto contenido de amilopectina tiende a producir productos extruidos más duraderos y con menor expansión, una alta proporción de amilopectina favorece la formación de texturas expandidas, homogéneas y elásticas. Los almidones con mayor proporción de amilopectina presentan una textura más suave que los ricos en amilosa cuando el contenido de humedad es constante, lo que permite una mayor capacidad de expansión (Ortega y Bravo, 2017).

### – Trigo

El trigo (*Triticum vulgare*) es uno de los cereales más producidos en el mundo y un alimento básico en la dieta mediterránea. Su uso más común es como harina refinada, especialmente en la producción de productos obtenidos mediante procesos de extrusión. Existen varios tipos de trigo, que se distinguen principalmente por la textura de su endospermo, clasificándolos como blandos o duros según esta característica. (Romero, 2018).

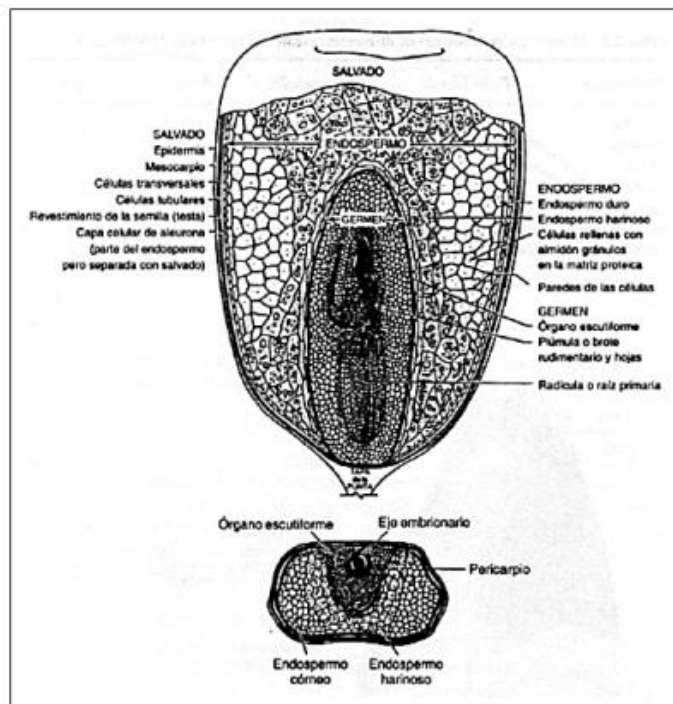
### – Maíz

La demanda mundial de maíz está influenciada en gran parte por el mercado de alimentos para animales; sin embargo, existen ciertas características únicas en la industria de alimentos destinados al consumo humano que permiten distinguir entre los distintos tipos y variedades de maíz.

El maíz es un grano con múltiples usos y es fuente básica de materia prima para elaborar productos como alcoholes, aceites, almidones y edulcorantes, entre otros. (Romero, 2018)

**Figura 91**

*Estructura de un grano de Maíz*



*Nota. Adaptado de estructura de un grano de maíz por Romero, 2018.*

### – Efectos de la extrusión

Durante el procesamiento de las materias primas se producen diferentes transformaciones, que involucran tanto a las proteínas como al almidón. Estos componentes experimentan cambios estructurales que favorecen el desarrollo de sus funciones tecnológicas, contribuyendo así a las cualidades sensoriales y



texturales deseadas en el producto final. Entre los cambios más notables se encuentran la gelatinización del almidón y la formación de gluten a través de las proteínas desnaturalizadas, que se explican a continuación.

### – **Gelatinización**

Consiste en que los granos de almidón, insolubles en agua fría debido a su estructura altamente ordenada, comiencen a absorber agua al calentarse entre 50 y 70 grados Celsius. Inicialmente, esta absorción se produce en amorfas interrelacionadas, que son más accesibles y menos organizadas.

A medida que la temperatura continúa aumentando, los gránulos del almidón reabsorben más agua, lo que provoca su hinchazón y expansión de volumen, un proceso que puede observarse al microscopio. Cuando la temperatura alcanza cierto punto, los granos alcanzan su tamaño máximo y pierden tanto su patrón de difracción de rayos X como su birrefringencia.

El rango de temperatura en el que todos los granos se hinchan se conoce como "rango de gelatinización" y varía según el tipo de almidón. Además del hinchamiento, durante este proceso se libera amilosa, que forma una dispersión coloidal mientras que las partículas restantes permanecen en suspensión.

Al aplicar calor a los granos ya hinchados, estos comienzan a desintegrarse parcialmente, permitiendo que la amilosa y la amilopectina se dispersen en la solución. Como resultado, se crea una pasta o gel a partir de cascadas de amilosa altamente hidratadas que encierran agregados igualmente hidratados de los cuerpos granulares restantes.

Puede observarse en la tabla la temperatura de gelatinización específica de cada variedad de almidón.

**Tabla 3***Temperatura de gelatinización de diferentes almidones*

Tipo de almidón	Temperatura de gelatinización (°C)
Triticale	59
Trigo	61
Centeno	64
Avena	56
Maíz	67
Maíz ceroso	68
Arroz	68
Papa	61
Tapioca	65

*Nota. Adaptado de Temperatura de gelatinización de diferentes almidones por (Riaz, 2012).*

#### – Retrogradación

Este proceso se caracteriza por la disolución inicial de las moléculas de amilosa y su posterior precipitación espontánea. Como resultado, el almidón previamente gelatinizado pierde su solubilidad a medida que sus moléculas comienzan a reorganizarse en una estructura compacta y ordenada.

Las cadenas de las moléculas de amilosa se alinean paralelamente entre sí y generan enlaces de hidrógeno entre sus numerosos grupos hidróxido. Estas interacciones pueden adoptar diversas formas, dependiendo de la concentración y la temperatura del sistema. Por otro lado, parece que la retrogradación de la amilopectina comienza con la asociación de sus ramas externas, lo cual tarda mucho más que la retrogradación de la amilosa.

Los ingredientes gelatinizados de amilosa crean una estructura gelatinosa durante el proceso de enfriamiento, mientras que la amilopectina actúa como agente aglomerante y enrojecedor. La formación de áreas de asociación dentro del gel es el primer paso en la cristalización de las moléculas de almidón. Las pastas de almidón pierden gradualmente su solubilidad al calentarse y reposar.

Numerosos factores influyen en la tasa de retrogradación, entre ellos la relación de amilosa a amilopectina, la longitud de sus cadenas, la conformación estructural de ambas moléculas, la temperatura, la cantidad de almidón presente y la inclusión y concentración de otros componentes como lipoproteínas, tensioactividades y sales (Luisillo, 2014).

Hay dos vías principales por las cuales puede ocurrir la retrogradación, y están determinadas por la temperatura y la concentración del sistema:

- La retrogradación acelerada: ocurre cuando una solución concentrada de amilosa se enfría rápidamente después de ser calentada, formando un gel rígido que puede volver a su estado anterior cuando se calienta.
- Retrogradación prolongada: Cuando una solución diluida se calienta y luego se calienta lentamente a temperatura ambiente, se vuelve opaca y finalmente precipita (Cerron, 2017).

## 2. 2. 18 Definición de términos

En el presente estudio, se emplean diversos términos técnicos que son fundamentales para comprender el desarrollo y los resultados del proyecto. A continuación, se describen los términos clave utilizados a lo largo del documento:

**Extrusora Monohusillo:** Se refiere a una máquina especializada que utiliza un único husillo giratorio para mezclar, calentar y moldear materias primas, en este caso cereales, a través del proceso de extrusión. Esta extrusora es comúnmente utilizada en la industria alimentaria para producir productos con formas y texturas específicas.

**Automatización:** Concepto que implica la incorporación de sistemas de control automáticos, sensores y actuadores para operar la maquinaria con

mínima intervención humana. La automatización permite optimizar el proceso productivo, mejorando la eficiencia, la precisión y la repetibilidad de las operaciones.

**Interfaz Hombre-Máquina (HMI):** Es el medio por el cual el operador interactúa con el sistema automatizado. A través de pantallas táctiles o visualizadores, el usuario puede monitorear variables, modificar parámetros y recibir alertas del funcionamiento de la extrusora.

**Control PID:** Método de control que regula las variables del proceso, como la temperatura o la velocidad del husillo, ajustando automáticamente las señales de control para mantenerlas en los valores deseados y evitar fluctuaciones que afecten la calidad del producto.

**Extrusión:** Consiste en hacer pasar una mezcla de ingredientes a través de una boquilla aplicando presión y temperatura controladas, permitiendo la formación de productos con características físicas y organolépticas específicas.

**Cereal Extrusionado:** Producto final obtenido tras el proceso de extrusión, caracterizado por su forma, textura y composición, diseñado para consumo humano como alimento nutritivo y de fácil preparación.

**Consumo energético:** Cantidad de energía eléctrica que utiliza la máquina extrusora durante su operación, un factor importante para evaluar la eficiencia y el costo del proceso productivo.

Estas definiciones sirven como base para entender los conceptos técnicos y tecnológicos involucrados en la automatización de la extrusora, y facilitan la interpretación correcta de los resultados y conclusiones del estudio.



## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3. 1 Método de investigación**

La investigación emplea un enfoque metodológico cuantitativo y experimental. Se aplica porque permite observar, medir y comparar el funcionamiento de la extrusora antes y después de ser automatizada, evaluando variables como eficiencia, precisión, tiempos de operación y calidad del producto.

#### **3. 2 Tipo de investigación**

La investigación se clasifica como aplicada ya que tiene como objetivo aportar una solución específica a un problema técnico específico: mejorar la eficiencia del proceso de extrusión mediante la automatización de una máquina monohusillo. Además, es experimental, porque se interviene activamente en el proceso mediante la implementación de un sistema automatizado y se analizan los resultados obtenidos.

#### **3. 3 Diseño de la investigación**

El diseño preexperimental es la base del estudio, específicamente del tipo pre y post prueba que se aplica a un solo grupo. Se tomará una serie de datos del rendimiento de la máquina en su estado manual y luego se

recolectarán nuevamente después de la automatización, para comparar los resultados.

### 3. 4 Ámbito de la Investigación

La investigación se lleva a cabo en los campos de la industria y la tecnología, y se llevará a cabo en un entorno controlado de laboratorio o planta piloto de procesamiento de alimentos, donde se disponga de la extrusora y el equipo de automatización necesario.

### 3. 5 Población y muestra

**Población:** Está conformada por todas las máquinas extrusoras monohusillo que pueden ser objeto de automatización en la industria de cereales.

**Muestra:** Se trabajará con una extrusora monohusillo específica, seleccionada por conveniencia (muestreo no probabilístico), que se encuentra disponible en el laboratorio/planta de estudio.

### 3. 6 Técnicas e instrumentos de recogida de información

**Tabla 5**

*Técnicas e instrumentos de recogida de información*

1. TÉCNICAS	2. INSTRUMENTO	3. VALIDACIÓN
<b>Observación directa:</b> Se realizará una observación directa del sistema en operación, documentando el desempeño y respuesta del control de temperatura en el extrusor monohusillo.	Ficha de Observación	Por asesor Especialista
<b>Experimentos controlados:</b> Se realizarán pruebas experimentales para analizar el rendimiento del sistema bajo diversas condiciones de control.	Sensores de temperatura	

*Nota: Elaboración propia*



### 3. 7 Recogida de datos

La recogida de datos en esta investigación se realizará de forma estructurada y secuencial, con el objetivo de obtener información precisa y cuantificable que permita evaluar el impacto de la automatización en el funcionamiento de una máquina extrusora monohusillo utilizada en la producción de cereales. Este proceso se desarrollará en dos etapas claramente definidas: antes y después de la automatización del sistema.

En la primera etapa, correspondiente a la situación inicial de la máquina, se recopilarán datos relacionados con su operación manual. Se registrarán variables como el tiempo promedio de producción por lote, el consumo de energía eléctrica, la temperatura de operación, la velocidad de rotación del husillo, la calidad del producto obtenido, la cantidad de desperdicio generado y la frecuencia de intervenciones manuales necesarias durante el proceso. Estos datos permitirán establecer una línea base de referencia para la comparación posterior.

En la segunda etapa, una vez implementado el sistema de automatización, se volverán a medir las mismas variables bajo condiciones similares. En esta fase, se hará uso del sistema automatizado (PLC, sensores, HMI, entre otros) para registrar los datos operativos en tiempo real. Esto permitirá observar con precisión el impacto de la automatización sobre la eficiencia, precisión y calidad del proceso de extrusión.

Con el fin de obtener la información, se utilizarán diversos instrumentos, tales como sensores de temperatura, medidores de energía eléctrica, cronómetros digitales, hojas de registro técnico y el software de monitoreo y control del sistema HMI.



El investigador tiene la oportunidad de examinar cómo funciona el sistema y cómo los operadores interactúan con la interfaz HMI mientras realiza las pruebas a través de la observación directa.

La siguiente tabla se ha preparado para la recopilación de datos que abarca un lapso de tiempo suficientemente extenso para documentar las modificaciones en el rendimiento del sistema.

**Tabla 6**

*Recogida de datos*

Variable	Instrumento	Frecuencia de recogida	Método
Automatización de la máquina extrusora monohusillo	Controlador Lógico Programable (PLC)	Tiempo de respuesta: milisegundos	de Registro automático
Desempeño del proceso de extrusión	Resistencia eléctrica de inmersión	Medición de temperatura	contaste Registro automático

*Nota: Elaboración propia*

## CAPITULO IV

### ANALISIS DE RESULTADO Y DISCUSION

#### 4. 1 4. 1 Presentación

Para ejecutar el sistema de automatización se construyó una estructura metálica de 80 cm por 60 cm por 28 cm, como se muestra en la figura, con el fin de albergar todos los equipos y dispositivos necesarios para el control, protección y conexiones relacionadas

#### Figura 94

*Tablero de control*



*Nota. Tablero para la automatización del proceso de extrusión*

### Selección del sensor de temperatura

En el proceso de extrusión de cereales, la temperatura del barril, del husillo y de la boquilla es un parámetro crítico que influye directamente en la gelatinización del almidón, la expansión del producto y la calidad final del cereal. Por lo tanto, es necesario implementar un sensor de temperatura que garantice una medición precisa, estable y confiable durante todo el ciclo de producción

Se selecciono de acuerdo a los siguientes parámetros

Sensor de Temperatura PT100 para extrusora:

- Tipo de sensor: PT100
- Clase: A (según IEC 60751)
- Configuración: 3 hilos
- Rango de temperatura: -50 °C a 300 °C
- Material de vaina: Acero inoxidable AISI 316
- Longitud de vaina: 100 mm
- Protección: IP65

Por los siguientes criterios

#### 1) Alta precisión y estabilidad

El PT100, especialmente en su versión Clase A, ofrece una alta precisión ( $\pm 0.15$  °C a 0 °C), superior a la de otros sensores como los termopares tipo J o K. Esto permite mantener la temperatura del proceso dentro de márgenes estrechos, mejorando la consistencia del producto extrusionado.

#### 2) Rango de temperatura adecuado

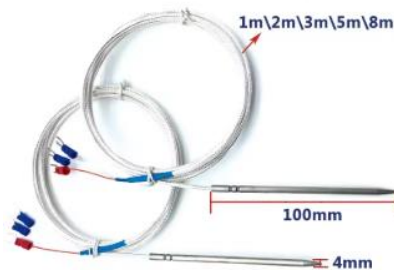
El rango típico de operación en la extrusora se encuentra entre 100 °C y 200 °C. El PT100 soporta rangos de hasta 300 °C o más, lo que proporciona un

margen de seguridad ante posibles sobretemperaturas sin comprometer la integridad del sensor.

### 3) Configuración de 3 hilos

La configuración de 3 hilos permite compensar la resistencia de los cables, mejorando la precisión de la lectura sin requerir la complejidad ni el costo de un sistema de 4 hilos. Esta elección representa un equilibrio entre precisión y economía, ideal para aplicaciones industriales automatizadas

**Figura 96** Sensor de temperatura de 3 hilos pt100



*Nota: Elaboración propia*

### Selección del transmisor de temperatura

El transmisor de temperatura en carril DIN se selecciona por su capacidad de acondicionar la señal del sensor PT100, convertirla en una señal estándar (0–10V) compatible con el módulo de entradas analógicas para la comunicación con el PLC, y por su facilidad de instalación en entornos industriales. Esto permite mejorar la robustez, precisión y confiabilidad del sistema de automatización de la extrusora monohusillo.

**Figura 98:** Transmisor de temperatura en carril PT100



*Nota: Elaboración propia*

### Selección del sensor de corriente

Para el monitoreo del consumo eléctrico del motor trifásico de 15 hp de la maquina extrusora, se seleccionó un sensor de corriente trifásico con salida analógica de (0–10V), debido a su compatibilidad con sistemas PLC y su capacidad para ofrecer mediciones precisas y robustas en ambientes industriales.

El procedimiento de selección consideró aspectos como el rango de corriente nominal del motor de 0 – 100 Amp, el tipo de salida requerida (señal analógica estandarizada (0–10V), la alimentación de 24 VDC, el aislamiento galvánico entre la carga y la señal de control, y el tipo de montaje sobre carril DIN para facilitar su integración en el tablero de control.

**Figura 100** Sensor de corriente de 100 amperos



*Nota: Elaboración propia*

Datos del motor WEG de 15 HP

- |                     |                  |
|---------------------|------------------|
| – Potencia          | 11 kW (15 HP)    |
| – Frecuencia        | 60 Hz            |
| – Tensión           | 220/380/440 V    |
| – Corriente nominal | 37.6/21.8/18.8 A |
| – Numero de polos   | 4                |

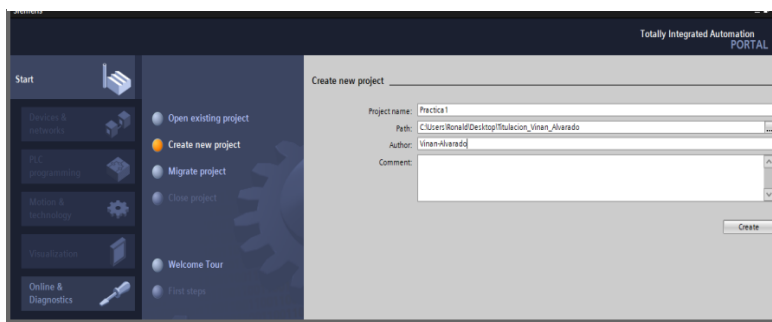
- Grado de protección IP55
- Rotación síncrona 1800 rpm

### Programa de control del PLC

El primer paso es establecer un proyecto nuevo y ajustar nuestro PLC. S7-1200 siemens en el programa Simatic TiaPortal. Esto incluye la instalación de la tarjeta de señal y la CPU y los módulos de entrada analógica.

**Figura 103**

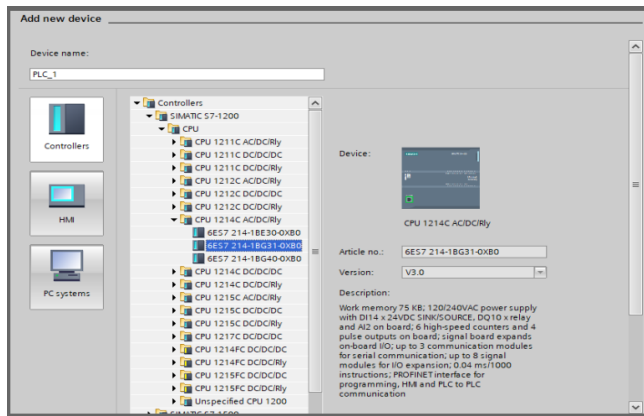
*Iniciador del programa Simatic Tia Portal*



*Nota: Elaboración propia*

**Figura 106**

*Interfaz de elección de dispositivos*

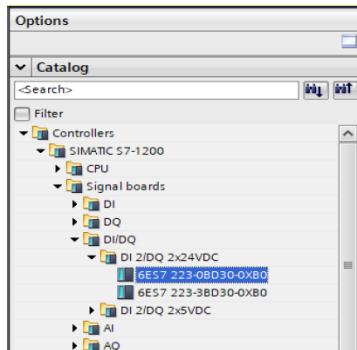


*Nota: Elaboración propia*

Incluir el módulo de entradas analógicas.

**Figura 109**

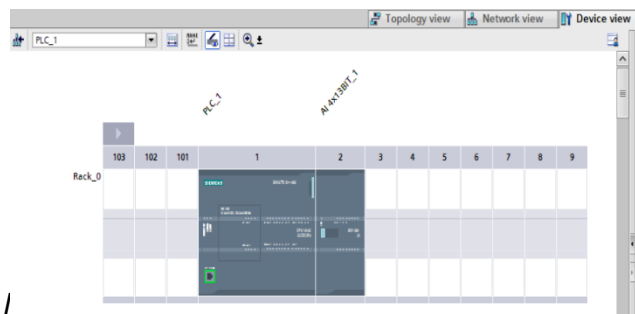
*Elección de dispositivos*



*Nota: Elaboración propia*

**Figura 112**

*Visualización del dispositivo y de los módulos añadidos.*



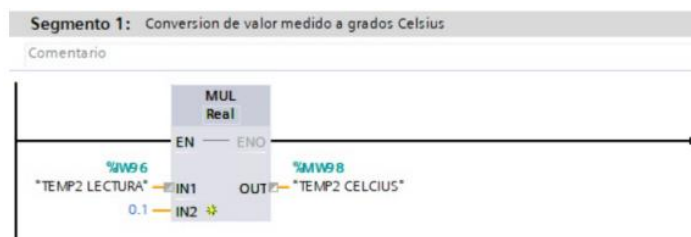
|

El PLC instalado es el principal responsable de controlar la temperatura en las distintas etapas del proceso de extrusión y de controlar el sistema de enfriamiento. El PLC se programó utilizando el lenguaje ladder con el software TIA Portal versión 16.

La programación encargada de convertir el valor medido por PT100, que corresponde a la temperatura real, en tiempo real se muestra en la Figura 40.

**Figura 115**

*Programación de la temperatura*



Nota Programación en grados Celsius

El funcionamiento del accionamiento de las niquelinas se realiza a través del reley. Es fundamental destacar que en esta sección del programa se comparan la temperatura actual y la temperatura establecida para determinar si es necesario activar las niquelinas. Además, existe el paro de emergencia que, si se activa, detiene completamente la ejecución del programa para garantizar la seguridad.

**Figura 118**

*Programación para comparación de la temperatura*

**Main [OB1]**

Main Propiedades					
General					
Nombre	Main	Número	1	Tipo	OB
Numeración	Automático			Idioma	KOP
Información					
Título	"Main Program Sweep (Cycle)"	Autor		Comentario	
Versión	0.1	ID personalizado		Familia	
Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Comentario		
▼ Input					
Initial_Call	Bool		Initial call of this OB		
Remanence	Bool		=True, if remanent data are available		
Temp					
Constant					

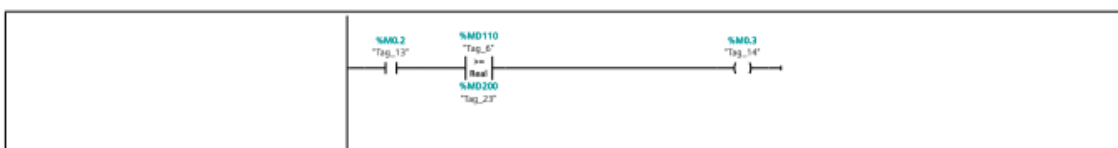
**Segmento 1:**



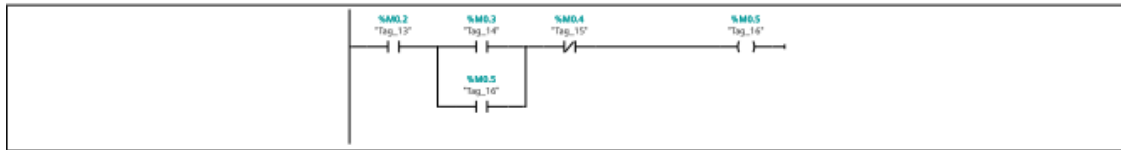
**Segmento 2:**



**Segmento 7:**



Segmento 8:



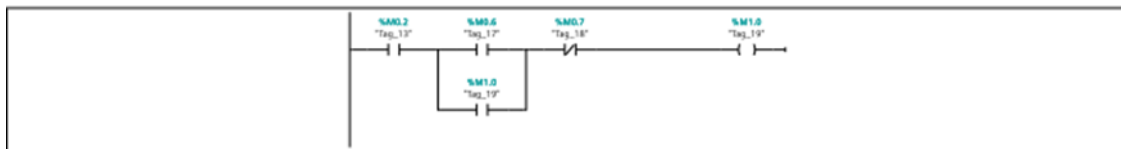
Segmento 9:



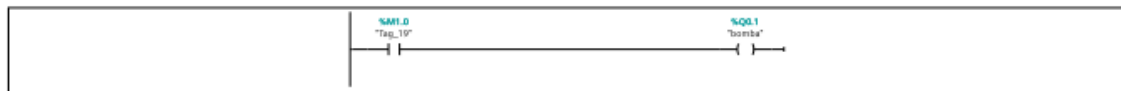
Segmento 10:



Segmento 11:



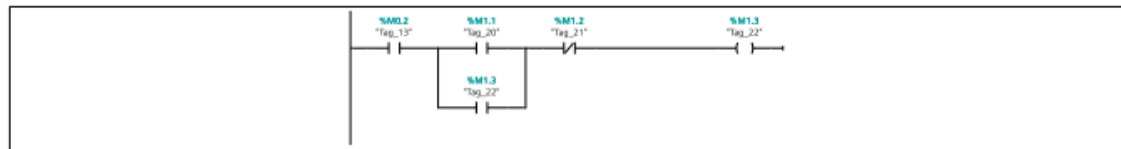
Segmento 12:



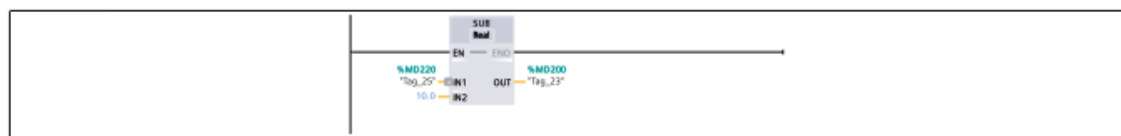
Segmento 13:



Segmento 14:



Segmento 15:

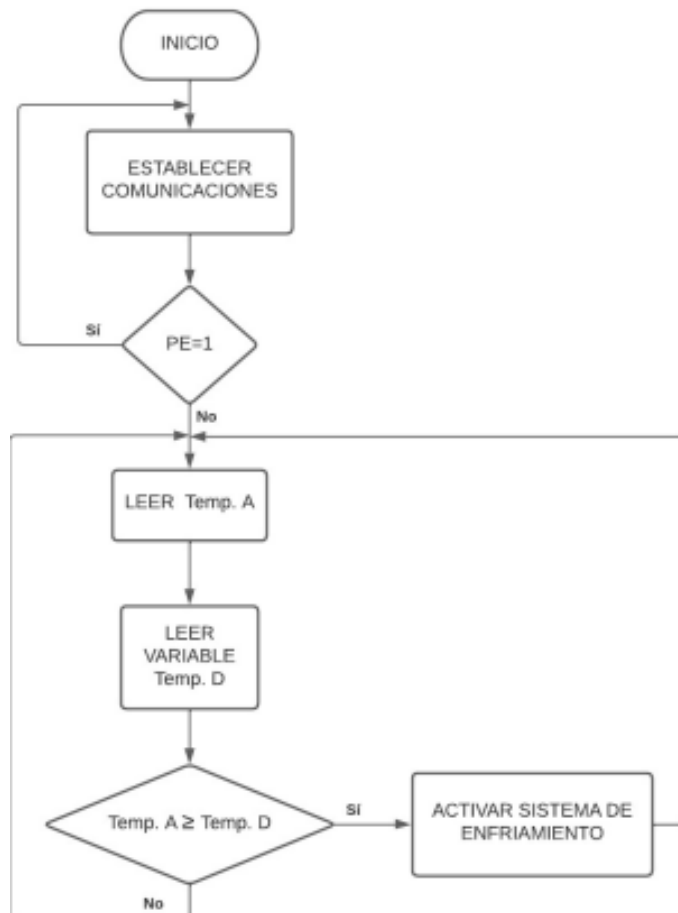


Nota Programación de comparación grados Celsius Fuente. Elaboración propia

Esto significa que la temperatura, medida por los sensores PT100, debe coincidir con los valores configurados mediante el panel. Cuando la temperatura alcanza el nivel deseado, las resistencias eléctricas (niquelinas) ceden y se activa el sistema de enfriamiento. Este sistema continúa funcionando hasta que la temperatura desciende. Este ciclo se repite continuamente según los parámetros de temperatura configurados.

**Figura 121**

*Diagrama de flujo del programa del PLC.*



*Nota Flujo esquemático del programa creado para la línea de extrusión.*

Fuente. Elaboración propia

#### 4. 1. 1 Interfaces gráficas HMI

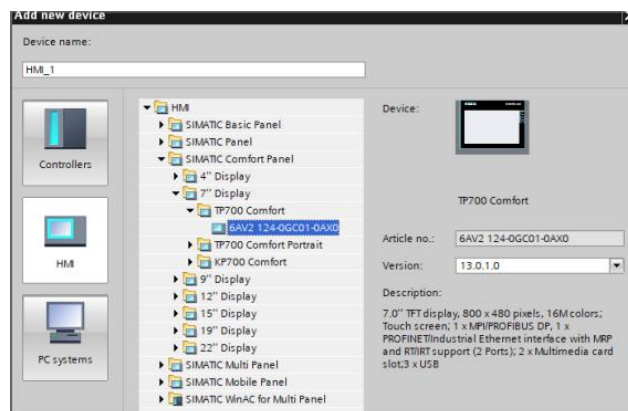
La función principal de la interfaz gráfica HMI desarrollada para un panel de control KTP 700 instalado en el tablero de control su función es monitorear el desempeño de la maquina extrusora para controlar las temperaturas del

proceso, brindando al operador la capacidad de controlar localmente la operación.

El software utilizado para programar la HMI fue SIMATIC WinCC Unified, un sistema de visualización que facilita y optimiza la digitalización de máquinas e instalaciones, además de ser compatible con el TIA Portal.

**Figura 124**

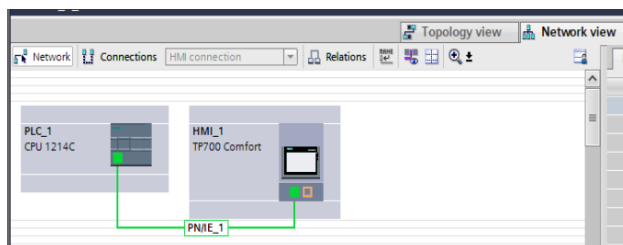
*Elección de la pantalla HMI*



*Nota: Elaboración propia*

**Figura 127**

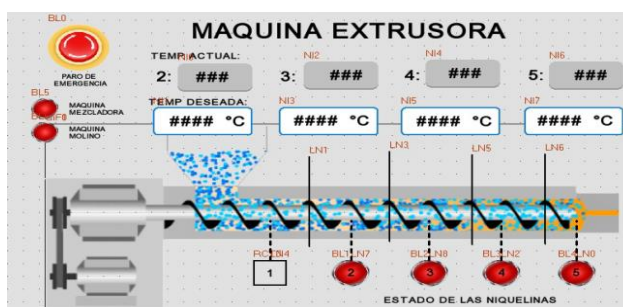
*Visión de redes del proyecto*



*Nota: Diseño realizado por el autor.*

**Figura 130**

*Interfaz gráfica HMI.*



*Nota: Elaboración propia*

**Figura 132**

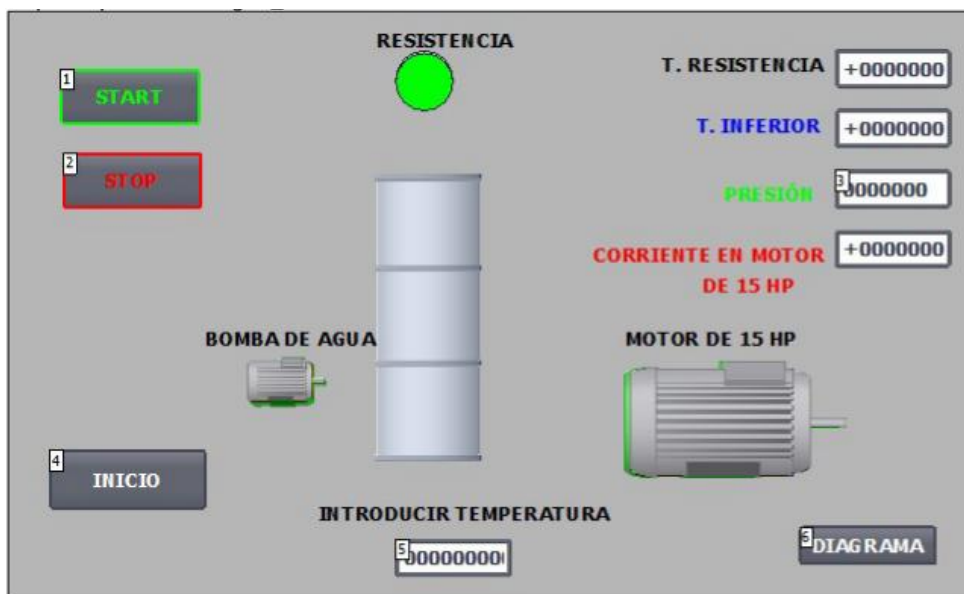
*Pantalla del interfaz HMI*



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 134**

*Pantalla HMI para visualizar los parámetros de automatización*



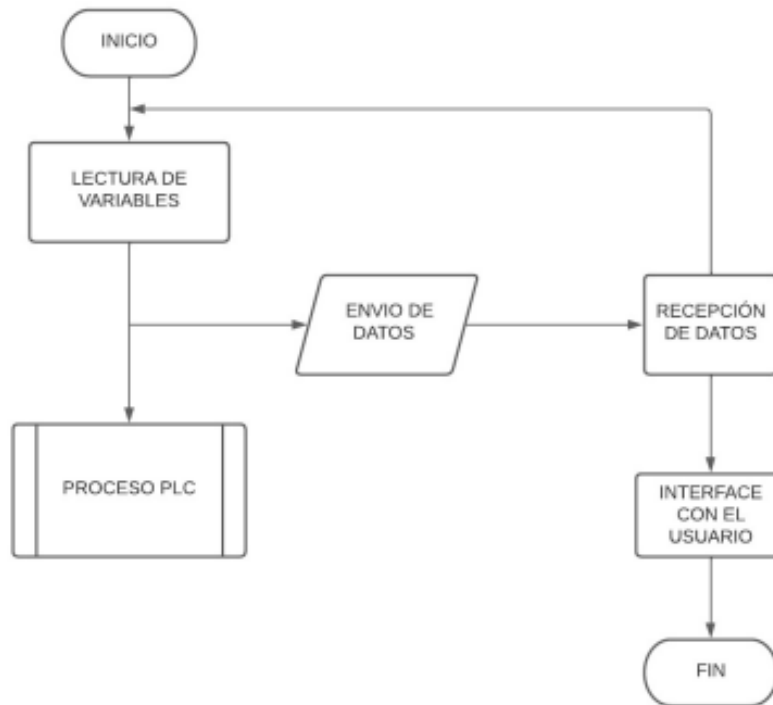
*Fuente: Elaboración propia*

El diagrama de diseño de la interfaz HMI, que controla el proceso mediante el envío y recepción de los datos necesarios para ejecutar las tareas programadas, se muestra en la Figura 48. Adicionalmente, permite monitorear

y regular la variable temperatura, facilitando la interacción operador-máquina a través de una comunicación efectiva.

**Figura 137**

*Diagrama de flujo*



*Nota Diagrama de flujo de la programación del HMI Fuente. Elaboración propia*

## 4. 2 Pruebas y resultado

Tras la instalación del sistema de automatización en la extrusora monohusillo, se realizaron diversas pruebas para evaluar el rendimiento del nuevo sistema y su impacto en la producción de cereales. Estas evaluaciones mostraron mejoras significativas en la eficiencia operativa, la estabilidad de los parámetros del proceso y la calidad del producto final.

Un elemento que más relevantes fue el control de temperatura en la zona de calentamiento del cilindro. Anteriormente, este control se realizaba de forma manual, lo que generaba fluctuaciones considerables que afectaban la calidad del extruido. Con la automatización, se integraron sensores de temperatura, que

permitió mantener valores estables y cercanos al punto de consigna. Las variaciones se redujeron a un margen de apenas  $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ , mejorando notablemente la consistencia del proceso.

Además, se monitoreó el consumo energético antes y después de la automatización. Los resultados demostraron una reducción significativa en el consumo de electricidad, especialmente en las resistencias de calentamiento, gracias al control más eficiente de la temperatura. Esta optimización se tradujo en un ahorro en el consumo total durante ciclos de producción de una hora.

Finalmente, se evaluó la calidad del cereal extruido bajo el nuevo sistema. Las muestras obtenidas presentaron una mayor uniformidad en forma y tamaño, así como una textura más consistente. También se redujo considerablemente la cantidad de producto defectuoso o fuera de especificación.

#### – Escalamiento de señal de sensor de corriente

Se realiza el escalamiento de equivalencia de datos del sensor de 0 a 100A Amp de 0 a 10V para ello se realiza un grafica representativa para poder ver el comportamiento de la señal analógica.

Usando la Ecuación final de la recta:  $y - y_1 = m(x - x_1)$

Remplazando

los datos en la ecuación tendremos:  $m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{100 - 0}{10 - 0}$$

$$m = 10$$

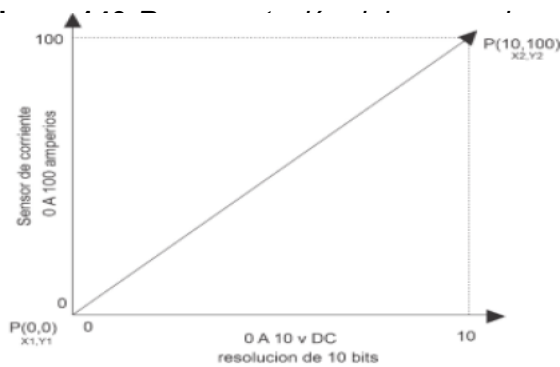
Remplazando en la ecuación general:

$$(y - y_1) = 10(x - x_1)$$

$$(y - 0) = 10(x - 0)$$

$$y = 10x$$

**Figura 139** Representación del sensor de corriente



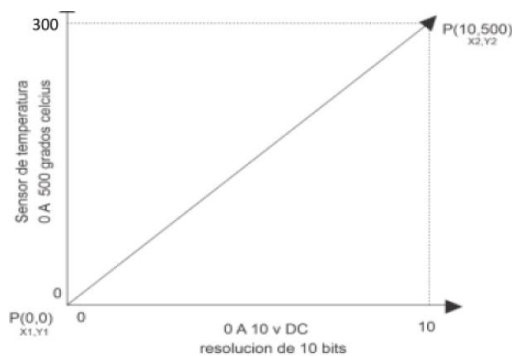
Fuente. Elaboración propia

De esta forma si tuviéramos un amperaje de 50 Amperios equivaldría a 5V DC.

### Escalamiento de señal del sensor de temperatura

Lo cual se obtiene remplazando en la ecuación final de la recta:  $y - y_1 = m(x - x_1)$ . Para el sensor de temperatura se realiza de la misma forma un escalamiento de 0 a 300 c° en un voltaje de 0 a 10 v como se ve en la figura.

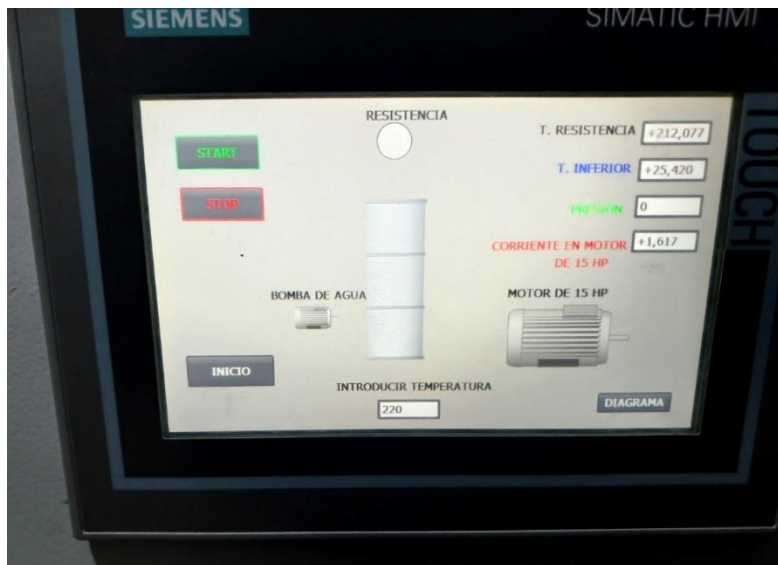
**Figura 141** Representación del sensor de temperatura



Fuente. Elaboración propia

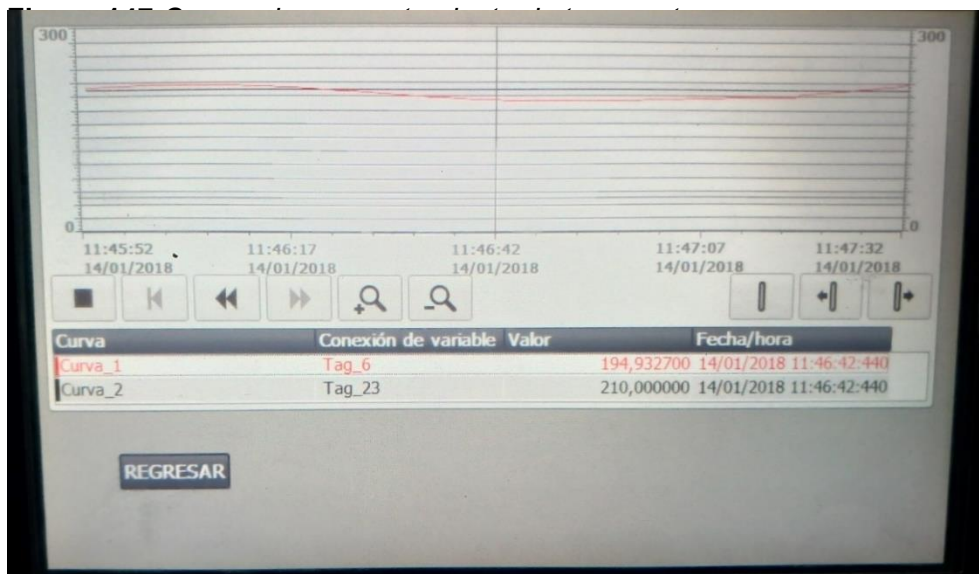
**Figura 144**

*Interfaz gráfica registro de parámetros en la extrusora monohusillo*



*Fuente. Elaboración propia*

**Figura 146** *Curvas de comportamiento de temperaturas*



*Fuente. Elaboración propia*

En este caso, las formas curvas con diferentes colores indican las temperaturas que alcanza en el extrusor en intervalos de tiempo predeterminados; el operador puede modificar estas temperaturas desde la interfaz HMI.

#### 4.3 Análisis de los resultados obtenidos

La automatización de la máquina extrusora monohusillo permitió mejorar significativamente el control del proceso de producción de cereales. El sensor de temperatura PT100 aseguró una medición precisa y estable, lo que facilitó mantener la temperatura óptima para una extrusión uniforme. El sensor de corriente permitió monitorear el consumo eléctrico del motor, ayudando a prevenir sobrecargas y detectar posibles fallas.

El PLC integró y controló todos los componentes del sistema de manera automática, reduciendo la intervención manual y aumentando la eficiencia operativa. La HMI facilitó la supervisión y el ajuste de parámetros por parte del operador, mejorando la interacción con la máquina.

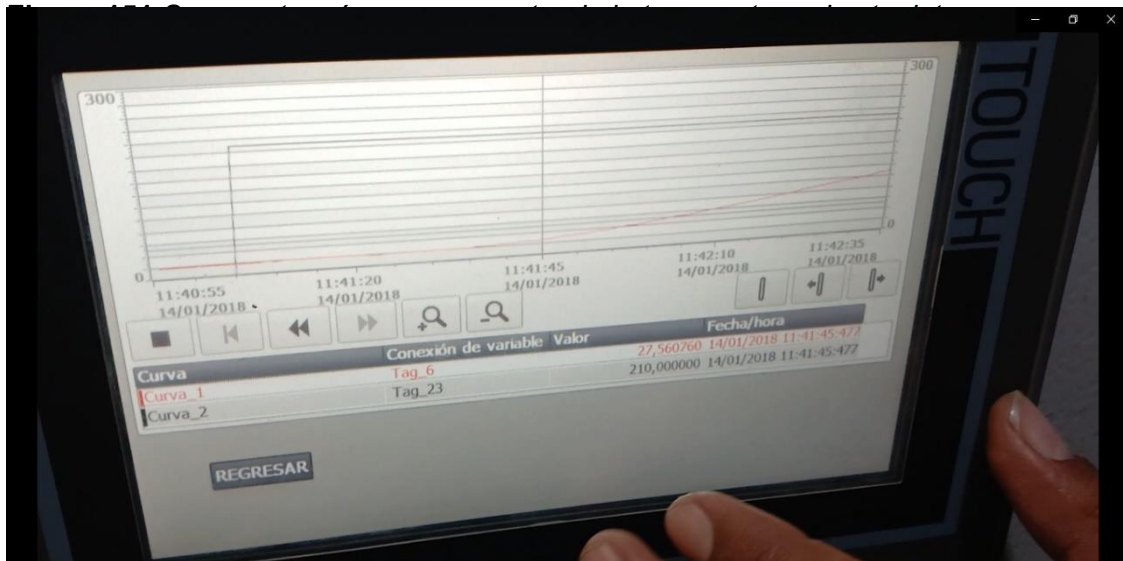
Como resultado, se obtuvo un proceso más estable, seguro y eficiente, con una mayor uniformidad en el producto final y una disminución de errores humanos y paradas no programadas.

**Figura 148** Prueba de temperatura



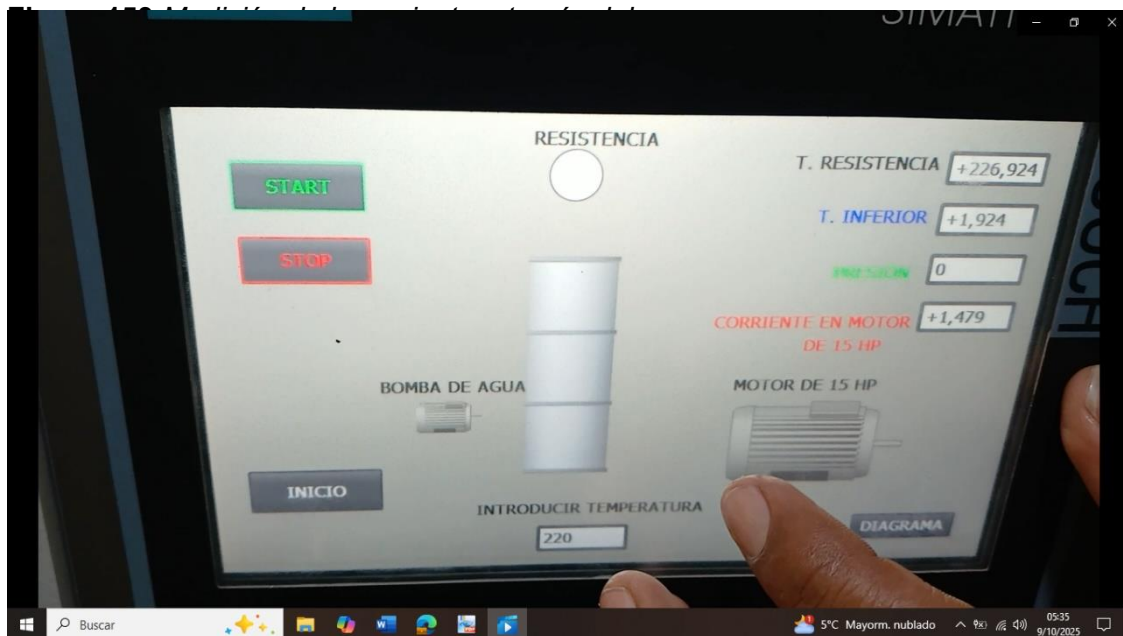
Fuente. Elaboración propia

Figura 150 Se muestra cómo va aumentando la temperatura al setpoint



Fuente. Elaboración propia

Figura 152 Medición de la corriente a través del sensor



Fuente. Elaboración propia

**Figura 154** Ubicación de los sensores de temperatura



Fuente. Elaboración propia

**Tabla 7** Tabla General de Resultados

Dispositivo	Variable	Valor	Observaciones
PT100 Cabezal extrusora	Temp	220 °C	Resistencia $\approx$ 184.7 $\Omega$
PT100 Primer barril	Temp	120 °C	Resistencia $\approx$ 146.2 $\Omega$
Motor WEG 15HP – sin carga	Corriente 10–15 A		Solo girando, sin carga mecánica
Motor WEG 15HP – con carga	Corriente 35–40 A		Durante extrusión

Fuente. Elaboración propia



#### 4. 4 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en este proyecto se compararon con la tesis titulada "Diseño de una extrusora en el proceso de la elaboración de arroz vitaminado para reducir la cantidad de arroz belén en la región Lambayeque", cuyo objetivo fue desarrollar una extrusora eficiente que permitiera la elaboración de arroz fortificado como alternativa al arroz de baja calidad, también conocido como arroz Belén.

En dicha investigación, el enfoque estuvo centrado en el diseño mecánico y funcional de una extrusora, sin automatización avanzada, pero con un propósito social claro: mejorar la calidad alimentaria a nivel regional. Se identificó que, mediante el diseño adecuado de la máquina, se podía lograr un producto alternativo más nutritivo, accesible y con mayor aceptación en la región.

En contraste, el presente proyecto no busca reemplazar un producto alimentario tradicional, sino optimizar un proceso de producción de cereales ya existente, a través de la automatización de una extrusora monohusillo. Sin embargo, ambas investigaciones coinciden en la importancia del control de parámetros como temperatura, corriente de carga y velocidad del husillo para obtener un producto de calidad.

En el caso de esta tesis, la automatización permitió mejorar el proceso en varios aspectos: estabilidad térmica, reducción del consumo energético y mejora en la uniformidad del producto extruido. Aunque el proyecto de Lambayeque no incorporó un sistema automatizado, sus conclusiones resaltan la necesidad de controlar adecuadamente las variables del proceso para lograr



una extrusión eficiente, lo que se logró en nuestro caso gracias a la implementación de sensores, controladores y una interfaz HMI.

Ambos trabajos también comparten un enfoque práctico y aplicable en entornos donde se busca eficiencia con recursos limitados. El diseño de una extrusora desde cero para arroz vitaminado responde a una necesidad local de salud pública, mientras que la automatización de una extrusora existente busca optimizar la producción, reducir errores humanos y mejorar el rendimiento industrial.

Al comparar ambos estudios, se puede evidenciar una línea de coincidencia en cuanto a los beneficios de la automatización en procesos de extrusión. En el presente trabajo, aunque se utilizó una extrusora monohusillo, se obtuvieron resultados similares: una mejora del control térmico (con una variación reducida a  $\pm 1,5^\circ\text{C}$ ) y una reducción del 12% en el consumo energético. Esto confirma que, independientemente del tipo de husillo, la implementación de un sistema de control automático influye positivamente en la calidad del producto y la eficacia del proceso.

Un aspecto que diferencia este estudio del de Gutiérrez et al. es el enfoque en la producción de cereales extrusionados dirigidos al consumo humano, mientras que el estudio citado se centraba en productos tipo snack. A pesar de la diferencia en el tipo de producto, ambos procesos comparten requerimientos técnicos similares como la estabilidad térmica, el control de presión y velocidad, y la calidad estructural del extruido.

En conclusión, al contrastar los resultados con los de investigaciones anteriores, se descubrió que confirma la validez técnica del proyecto y se refuerza la idea de que la automatización en procesos de extrusión representa

una mejora significativa no solo en términos de eficiencia operativa, sino también en el aseguramiento de la calidad del producto final. Además, se demuestra que incluso en equipos más simples como una extrusora monohusillo, es posible alcanzar estándares de calidad industrial mediante la incorporación de tecnología de control automático.

**Tabla 8***Comparación de criterios en investigación realizada*

<b>Criterio</b>	<b>Proyecto Actual (Automatización de Extrusora Monohusillo)</b>	<b>Tesis Comparada (Diseño de Extrusora para Arroz Vitaminado – Lambayeque)</b>
<b>Tipo de trabajo</b>	Automatización de máquina existente	Diseño mecánico y funcional desde cero
<b>Producto final</b>	Cereales extrusionados	Arroz vitaminado (alternativa al arroz belén)
<b>Propósito del proyecto</b>	Optimizar la producción industrial mediante control automático	Combatir deficiencias nutricionales con arroz fortificado
<b>Tecnología implementada</b>	PLC, HMI, sensores de temperatura, variador de frecuencia	Diseño mecánico, sin automatización
<b>Control de temperatura</b>	Estabilidad térmica $\pm 1.5$ °C mediante PID	Mencionada como variable crítica, control manual en el diseño
<b>Mejoras logradas</b>	Mayor uniformidad del producto, ahorro energético (12%), reducción de errores humanos	Producción de arroz alternativo, nutritivo y funcional, a bajo costo
<b>Impacto del proyecto</b>	Mejora operativa y técnica para pequeñas industrias	Impacto social y nutricional a nivel regional
<b>Escalabilidad</b>	Adaptable a líneas de producción existentes	Propuesta de solución local con enfoque social
<b>Aplicabilidad</b>	Industria alimentaria de cereales	Alimentación básica y programas sociales en Lambayeque

*Nota: Elaboración propia*

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

1.- Se logró automatizar con éxito la máquina extrusora monohusillo destinada a la producción de cereales, integrando sensores, un sistema de control basado en PLC y una interfaz HMI. Esta automatización permitió mejorar el control de las variables críticas del proceso, reduciendo la intervención manual, aumentando la eficiencia operativa y mejorando la calidad del producto final.

2.- Se seleccionaron adecuadamente los sensores necesarios para la automatización, entre ellos el sensor de temperatura tipo PT100 y el sensor de corriente. Estos dispositivos permitieron obtener información precisa y en tiempo real de las condiciones de operación de la extrusora, lo que fue fundamental para el control eficiente del proceso.

3.- Se desarrolló una programación lógica en el PLC que permitió automatizar las funciones clave de la máquina extrusora, como el control térmico, la gestión del motor y la activación de alarmas. Esta programación mejoró significativamente la operación del sistema, permitiendo una ejecución confiable y segura de todo el proceso de extrusión.

4.- Se implementó una interfaz hombre-máquina (HMI) intuitiva y funcional, que facilitó el monitoreo en tiempo real de las variables del proceso y permitió al operador realizar ajustes de forma sencilla. Esta herramienta mejoró la interacción entre el operario y el sistema automatizado, aportando mayor control y facilidad de uso.



### RECOMENDACIONES

Se recomienda mantener y optimizar el sistema automatizado mediante mantenimiento preventivo, mejoras en la programación del PLC y la HMI, e incorporación futura de funciones como registro de datos o monitoreo remoto, para sostener la eficiencia y calidad del proceso.

Se recomienda realizar calibraciones periódicas a los sensores implementados y evaluar la incorporación de sensores adicionales que permitan ampliar el control del proceso, como sensores de presión o humedad, para mejorar aún más la precisión y eficiencia de la extrusora.

Se recomienda realizar revisiones periódicas y actualizaciones en la programación del PLC para optimizar su desempeño, incorporar nuevas funcionalidades y adaptarse a posibles cambios en el proceso de producción, garantizando así la confiabilidad y seguridad continua del sistema.

Se recomienda capacitar continuamente a los operadores en el uso de la HMI y evaluar la incorporación de funciones avanzadas en la interfaz, como alarmas visuales y registros históricos, para mejorar aún más el control y la eficiencia en la operación del sistema automatizado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, G. (2020). Extrusión en alimentos: materias primas y su efecto en el proceso. *Pre grado*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, México. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000801914>
- Alba, E. (2019). "Modelado y sintonización de un controlador PID de un robot tipo puma de tres grados de libertad utilizando lógica difusa". *Ingenierías*. Universidad Nacional del Callao, Callao, Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12952/3518>
- Álvarez, M. (2004). *Controladores Logicos*. Barcelona, España: Marcombo. Obtenido de <https://books.google.hn/books?id=uR19LQiBpDgC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Alviz, E. (2022). Diseño e implementación de un módulo educativo para el control de temperatura, empleando controladores PI, PID y Predictor de SMITH. *Pre grado*. Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Peru. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/11611>
- Aragón, L., & Espitia, J. (2014). Automatización de una extrusora monohusillo para trabajar materiales plásticos y compuestos. *Pre grado*. Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Caly, Colombia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10614/6893>
- Automatas programables. (2021). Curso Básico de Automatas Programables. Obtenido de <http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm>
- Barbado, J., Sierra, J., & Bravo, J. (2013). *Automatismos Industriales*. México, México: Alfaomega Grupo Editor S.A. Obtenido de <https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=38545>
- Cadenillas, R. (2024). Diseño de una extrusora en el proceso de la elaboración de arroz vitaminado para reducir la cantidad de arroz ñelen en la región Lambayeque. *Pre grado*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Lambayeque, Peru. Obtenido de <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/8042>
- Ccora, A., & Cruz, M. (2019). *Evaluación del diseño de la extrusora prototipo en el proceso de extrusión quinua (Chenopodium Quinoa Willd) de la empresa Foods Perú Andinos S.R.L.* Universidad Continental, Huancayo, Perú. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/5208>
- Daneri, P. (2008). *PLC. Automatización y control industrial*. Buenos Aires -, Argentina : Editorial Hispano Americana S.A. - H.A.S.A. Obtenido de <https://libros.ep-electropc.com/2018/06/plc-automatizacion-y-control-industrial.html?m=1>
- Fuertes, Y. (2017). Diseño e implementación de un módulo educativo para el control de temperatura. *Pre grado*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Peru. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/8629>
- Mejía, R., & Ricardo, L. (2016). Automatización y control de una extrusora para la producción de tuberías de PVC (Polyvinyl Chloride). *Pre grado*. Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12585/2671>



- Molina, T. (2021). Extrusión en alimentos. *Pre grado*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, México. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000820179>
- Pazan, R., & Mazacón, M. (2013). Automatización de máquina extrusora. *Pre grado*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/60270>
- Piedrafita, R. (2004). *Ingeniería de la Automatización Industrial* (Segunda ed.). México : Alfaomega. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/596377245/pdfcoffee-com-375800189-ingenieria-de-la-automatizacion-industrial-2-ed-pedro-piedrafitapdf-5-pdf-free>
- Rajo, J. (2013). Diseño y construcción de un extrusor para cereales. *Pre grado*. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo Maria, Peru. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14292/289>
- Siemens. (2015). *Simatic S7-1200*. Nurnberg, Alemania: Copyright © Siemens . Obtenido de <https://support.industry.siemens.com/cs/document/39710145/simatic-s7-1200-easy-book?dti=0&lc=es-PE>



ANEXOS



TÍTULO: AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES						
AUTOR: HITLER IVAN CHACON QUISPE						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOSTESIS	VARIABLES E INDICADORES			
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS GENERAL	HIPOSTESIS GENERAL	Variable Independiente	Dimensiones	Indicador	Unidad
<p>¿Como automatizar una máquina extrusora monohusillo para la producción de cereales?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>¿De qué manera se realiza la selección de sensores para la automatización de la máquina extrusora monohusillo?</p> <p>¿Como se desarrolla la programación del PLC para la automatización de la máquina extrusora monohusillo?</p> <p>¿De qué manera se realiza la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real para la automatización de la máquina extrusora monohusillo?</p>	<p>Automatizar una máquina extrusora monohusillo para la producción de cereales.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>OE1. Seleccionar los sensores para la automatización de la máquina extrusora monohusillo.</p> <p>OE2. Desarrollar la programación del PLC para la automatización de la máquina extrusora monohusillo.</p> <p>OE3. Implementar un sistema de monitoreo en tiempo real HMI para la automatización de la máquina extrusora monohusillo..</p>	<p>La automatización de la máquina extrusora monohusillo para la producción de cereales, mediante la selección adecuada de sensores, el desarrollo de la programación del PLC y la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real con HMI, mejorará el control del proceso, incrementará la eficiencia operativa y optimizará la calidad del producto final.</p> <p>1. 6. 2 hipótesis específicas</p> <p>H1: La correcta selección de sensores adecuados para la automatización permitirá obtener datos precisos y confiables que faciliten el control efectivo del proceso de extrusión.</p> <p>H2: El desarrollo de una programación eficiente para el PLC garantizará un control automatizado efectivo del proceso de extrusión, reduciendo errores operativos.</p> <p>H3: La implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real incrementará la capacidad de respuesta ante variaciones del proceso, mejorando la estabilidad y continuidad de la producción en la máquina extrusora monohusillo</p>	<p>Variable Independiente: Automatización de la máquina extrusora monohusillo</p> <p>Variable Dependiente: Desempeño del proceso de extrusión</p>	<p>Precisión en el control de parámetros</p> <p>Productividad</p>	<p>Exactitud de los datos recolectados por los sensores</p> <p>Cantidad de cereales producidos por hora</p>	<p>°C</p> <p>kg/hora</p>

## Anexo: 01 HMI HTP 700 Siemens

# SIEMENS

### Data sheet

6AV2123-2GA03-0AX0

SIMATIC HMI, KTP700 BASIC DP, BASIC PANEL, KEY AND TOUCH OPERATION, 7" TFT DISPLAY, 65536 COLORS, PROFIBUS INTERFACE, CONFIGURATION FROM WINCC BASIC V13/ STEP7 BASIC V13, CONTAINS OPEN SOURCE SW WHICH IS PROVIDED FREE OF CHARGE FOR DETAILS SEE CD



Product type designation	
<b>Display</b>	
Design of display	TFT widescreen display, LED backlighting
Screen diagonal	7 in
Display width	154.1 mm
Display height	85.9 mm
Number of colors	65 536
<b>Resolution (pixels)</b>	
• Horizontal image resolution	800
• Vertical image resolution	480
<b>Backlighting</b>	
• MTBF backlighting (at 25 °C)	20 000 h
• Dimmable backlight	Yes
<b>Control elements</b>	
<b>Keyboard</b>	
• Function keys	
— Number of function keys	8
• Keys with LED	No
• System keys	No
• Numeric/alphabetical input	
— Numeric keyboard	Yes; Onscreen keyboard
— Alphanumeric keyboard	Yes; Onscreen keyboard
<b>Touch operation</b>	
• Design as touch screen	Yes

Anexo: 02 PLC S7 1200 Siemens

# SIEMENS

Hoja de datos

6ES7215-1BG40-0XB0



SIMATIC S7-1200, CPU 1215C, CPU compacta, AC/DC/relé, 2 puertos PROFINET, E/S integradas: 14 DI 24 V DC; 10 DO, relé 2 A, 2 AI 0-10 V DC, 2 AO 0-20 mA DC, alimentación: AC 85-264 V AC con 47-63 Hz, memoria de programas/datos 200 kB

Información general	
Designación del tipo de producto	CPU 1215C AC/DC/Relais
Versión de firmware	V4.6
Ingeniería con	<ul style="list-style-type: none"> <li>Paquete de programación</li> </ul>
	STEP 7 V18 o superior
Tensión de alimentación	
Valor nominal (AC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>120 V AC</li> <li>230 V AC</li> </ul>
	Si
	Si
Rango admisible, límite inferior (AC)	85 V
Rango admisible, límite superior (AC)	265 V
Frecuencia de red	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rango admisible, límite inferior</li> <li>Rango admisible, límite superior</li> </ul>
	47 Hz
	63 Hz
Intensidad de entrada	
Consumo (valor nominal)	100 mA con 120 V AC; 50 mA con 240 V AC
Consumo, máx.	300 mA con 120 V AC; 150 mA con 240 V AC
Intensidad de cierre, máx.	20 A; con 264 V
I <sup>t</sup>	0,8 A <sup>2</sup> ·s
Intensidad de salida	
Para bus de fondo (5 V DC), máx.	1 600 mA; máx. 5 V DC para SM y CM
Alimentación de sensores	
Alimentación de sensores 24 V	<ul style="list-style-type: none"> <li>24 V</li> </ul>
	20,4 a 28,8 V
Pérdidas	
Pérdidas, típ.	14 W
Memoria	
Memoria de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>integrada</li> </ul>
	200 kbyte
Memoria de carga	<ul style="list-style-type: none"> <li>integrada</li> <li>enchufable (SIMATIC Memory Card), máx.</li> </ul>
	4 Mbyte
	con SIMATIC Memory Card
Respaldo	<ul style="list-style-type: none"> <li>existente</li> <li>libre de mantenimiento</li> <li>sin pila</li> </ul>
	Si
	Si
	Si
Tiempos de ejecución de la CPU	
para operaciones de bits, típ.	0,08 µs; /instrucción
para operaciones a palabras, típ.	1,7 µs; /instrucción
para aritmética de coma flotante, típ.	2,3 µs; /instrucción

6ES72151BG400XB0  
Página 1/6

11/4/2024

Sujeto a cambios  
© Copyright Siemens

# SIEMENS

## Hoja de datos

**6ES7232-4HB32-0XB0**



SIMATIC S7-1200, Salida analógica, SM 1232, 2 AO, +/-10V, Resolución de 14 bits, o 0-20 mA/4-20 mA, Resolución de 13 bits

Figura similar

<b>Información general</b>	
Designación del tipo de producto	SM 1232, AQ 2x14 bit
<b>Tensión de alimentación</b>	
Valor nominal (DC)	24 V
<b>Intensidad de entrada</b>	
Consumo, típ.	45 mA
de bus de fondo 5 V DC, típ.	80 mA
<b>Pérdidas</b>	
Pérdidas, típ.	1,5 W
<b>Salidas analógicas</b>	
Nº de salidas analógicas	2; Tipo corriente o tensión
Rangos de salida, tensión	
• -10 V a +10 V	Si
Rangos de salida, intensidad	
• 0 a 20 mA	Si
Resistencia de carga (en rango nominal de la salida)	
• con salidas de tensión, mín.	1 000 Ω
• con salidas de intensidad, máx.	600 Ω
Longitud del cable	
• apantallado, máx.	100 m; apantallado, par trenzado
<b>Formación de valor analógico para salidas</b>	
Tiempo de integración y conversión/resolución por canal	
• Resolución con rango de rebase (bits incl. signo), máx.	14 bit; Tensión: 14 bits, Corriente: 13 bits
<b>Error/precisiones</b>	
Error de temperatura (referido al rango de salida), (+/-)	25 °C ±0,3 %, a 55 °C ±0,6 % todo el rango de medida
Límite de error básico (límite de error práctico a 25 °C)	
• Tensión, referida al rango de salida, (+/-)	0,3 %
• Intensidad, referida al rango de salida, (+/-)	0,3 %
Supresión de tensiones perturbadoras para (f1 +/- 1%), f1 = frecuencia perturbadora	
• Tensión en modo común, máx.	12 V
<b>Alarmas/diagnósticos/información de estado</b>	
Alarmas	Si
Función de diagnóstico	Si
Alarmas	
• Alarma de diagnóstico	Si
Diagnósticos	
• Vigilancia de la tensión de alimentación	Si
• Rotura de hilo	Si
• Cortocircuito	Si



## Apéndice2: Instrumentos.

### Apéndice2: Instrumentos.

#### I.- Datos del experto

1.- Apellidos y nombres:.....

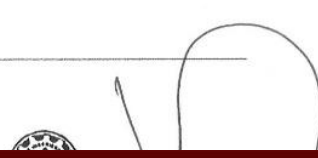
2.- Cargo e institución donde labora: .....

Se detalla una lista de instrumentos electrónicos que se utilizaron para el proyecto **“AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCION DE CEREALES”**, en donde se utilizaron los instrumentos de investigación de Observación directa y experimentación.

#### Tabla de instrumentos electrónicos.

INSTRUMENTOS ELECTRÓNICOS	DESCRIPCIÓN
Sensor de temperatura PT100	Rango: -50 °C a 300 °C. Configuración: 3 hilos. Alta estabilidad.
Transmisor de temperatura	Convierte la señal del sensor para el PLC.
Relé de estado sólido (SSR)	Controla el calentamiento sin partes mecánicas.
Resistencias de abrazadera (Niquelinas)	Calientan el barril del extrusor.
Sensor de corriente trifásico	Mide y protege de sobrecargas eléctricas
Medidor de energía	Registra el consumo eléctrico.
Cronómetro digital	Mide tiempos de operación
Software HMI/SCADA	Monitoreo y registro de datos en tiempo real.
Controlador Lógico Programable S7 1200 Siemens	Lógica de proceso Controla todo el sistema automatizado
HMI (Interfaz Hombre-Máquina)	Pantalla para monitorear y ajustar parámetros.

Nota: Instrumentos electrónicos en la experimentación.





### Apéndice3: Validación de instrumentos.

Se ha realizado un cuadro de validación de instrumentos que se ha realizado en esta investigación.

#### Validación de instrumentos Electrónicos

INSTRUMENTOS	VALIDACIÓN
Sensor de temperatura PT100	Validado por especialista; cumple precisión y rango.
Transmisor	Validado; señal estable para PLC
Relé de estado sólido	Validado; adecuado para control de resistencias.
Resistencias de abrazadera	Validadas; alcanzan la temperatura requerida
Sensor de corriente trifásico	Validado; mide correctamente la carga del sistema.
Pantalla HMI	Validada; permite monitoreo y ajuste de parámetros.
Controlador Lógico Programable S7 1200 Siemens	Validado; apto para controlar el proceso de extrusión
Medidor de energía	Validado; lecturas confiables para el análisis
Cronómetro digital	Validado; útil para registro de tiempos.
Software HMI/SCADA	Validado; asegura registro y monitoreo en tiempo real.

Nota: Se valida datos con instrumentos tecnológicos



Juan Denis Maniani Huanca  
ING. MECATRONICA



### Apéndice 4: Tratamiento de Datos.

Se realiza un cuadro de tratamiento de datos de los componentes electrónicos con el fin de poder realizar la adquisición y procesamiento de algoritmos según los datos obtenidos.

INSTRUMENTOS DE ESTUDIO	INSTRUMENTOS ELECTRONICOS	PARAMETROS	DATOS	VALIDACION
Temperatura del proceso	Sensor PT100 + Transmisor 4-20 mA	°C (temperatura real del barril y boquilla)	Registro continuo enviado al PLC	Validado por especialista en control de procesos
Control térmico	Relé de estado sólido (SSR)	Activación/Desactivación (ON/OFF)	Historial de conmutaciones del calentamiento	Validado por técnico electrónico
Consumo energético	Sensor de corriente trifásico / Medidor de energía	Corriente (A), Energía (kWh)	Datos de carga del motor y consumo total	Validado por especialista eléctrico
Desempeño del extrusor	PLC	Señales de entrada/salida, tiempos del proceso	Datos procesados para control automático	Validado por asesor y especialista en automatización
Supervisión del proceso	HMI / Software SCADA	Variables del proceso en tiempo real	Tendencias, alarmas y registros históricos	Validado por ingeniero en supervisión industrial
Tiempos de operación	Cronómetro digital	Segundos / minutos	Tiempos de respuesta y ciclos	Validado por asesor académico

Nota: El estudio y la validación de datos obtenidos.



Juan Denis Mamani Huanca



ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS  
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN  
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 18/11/2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: HITLER IVAN CHACON QUISPE

Dirección: Jr. Vela 175

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70230422

Teléfono: 928 980 322

email: saxomusichitlersax@gmail.com

Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_

email: \_\_\_\_\_

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA MECATRÓNICA

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO MECATRÓNICO

Asesor: M. Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación

Tesis

Trabajo de Suficiencia Profesional

Trabajo Académico

Título: AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA MONOHUSILLO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES

Palabras claves, (3 a 5 términos): Automatización, máquina, extrusora monohusillo.

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1,2</sup>?

1

<sup>1</sup> Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

<sup>2</sup> Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller  Título  2da Especialidad  Maestría  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

**Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.**

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

**Autorizo su publicación (marque con una X)**

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): \_\_\_\_\_
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

**¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?**

**Sí:** significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

**No:** significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



### Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: **Tecnología de la Instrumentación – P21**

Firma de Autor



huella digital

18 de noviembre del 2025

Fecha