



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **DIRECCIÓN DE POSGRADO**

### **MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD**

#### **MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**Título:**

**“Diseño de un sistema de control en la tolva de alimentación del primer molino de extracción de jugo de caña para mejorar la calidad de producción”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magister en Electricidad  
mención Sistemas Eléctricos de Potencia

**Autor:**

Ing. Johanna Marivel Medina Palta

**Tutor:**

PhD. Rommel Eusebio Suarez Vinueza

**LATACUNGA –ECUADOR**

**2022**

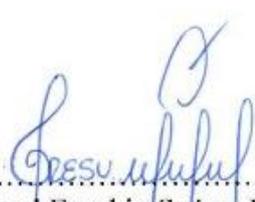
## AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación **“Diseño de un sistema de control en la tolva de alimentación del primer molino de extracción de jugo de caña para mejorar la calidad de producción (MALCA)”** presentado por Johanna Marivel Medina Palta para optar por el título magíster en Electricidad mención sistemas eléctricos de potencia.

## CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, noviembre ,23, 2022

  
.....  
PhD. Rommel Eusebio Suárez Vinueza  
C.C.: 1804165353

## AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: **Diseño de un sistema de control en la tolva de alimentación del primer molino de extracción de jugo de caña para mejorar la calidad de producción (MALCA)** ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.



Latacunga, noviembre, 23, 2022

.....  
M.Sc. Navarrete López Luis Miguel  
18037472284  
Presidente del tribunal



.....  
M.sc. Freire Martinez Luigi  
0502529589  
Lector 2



.....  
M.Sc. Quinatoa Caiza Carlos Iván  
0503287864  
Lector 3

## **DEDICATORIA**

A Dios, por ser el inspirador y darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres por su amor y cariño incondicional que siempre mean brindado.

A mi hermana por su apoyo constante.

A mi sobrina que es mi subsistencia, a la gran familia que Dios me dio,

A mis compañeros de preparación académica, por su apoyo y amistad brindada.

A todos quienes contribuyeron con un granito de arena para culminar con éxito la meta propuesta.

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, a Dios sobre todas las cosas, por la salud y sabiduría que todos los días me ha brindado para llegar a cabo este compromiso de mi vida.

A los docentes de la Maestría quienes impartieron sus conocimientos para nuestra formación profesional y todas aquellas personas que han colaborado desinteresadamente, de manera especial al Mgs. Rommel Eusebio Suarez, por sus valiosas opiniones y sugerencias durante la elaboración del presente trabajo.

Un inmenso y sincero agradecimiento a todo el personal que labora en el área de molienda del ingenio Monterrey MALCA, quienes de manera desinteresada me brindaron su tiempo y la información requerida para el desarrollo del proyecto.

Finalmente, a todas aquellas personas que de alguna manera me brindaron su apoyo, tiempo e información para el logro de mis objetivos.

## **RESPONSABILIDAD DE AUTORIA**

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, noviembre ,23, 2022



.....  
Ing. Johanna Marivel Medina Palta  
1104147390

## RENUNCIA DE DERECHO

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, noviembre , 23, 2022



.....  
Ing. Johanna Marivel Medina Palta  
1104147390

## AVAL DE PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: **Diseño de un sistema de control en la tolva de alimentación del primer molino de extracción de jugo de caña para mejorar la calidad de producción (MALCA)**” contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, noviembre , 23, 2022



.....  
MSc. Navarrete Lopez Luis Miguel  
18037472284  
Presidente del tribunal

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD**  
**MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

**Título: “Diseño de un sistema de control en la tolva de alimentación del primer molino de extracción de jugo de caña para mejorar la calidad de producción (MALCA)”**

**Autor:** Ing. Johanna Marivel Medina Palta  
**Tutor:** PhD. Rommel Suárez.

**RESUMEN**

Tradicionalmente en los ingenios azucareros han existido una serie de procesos implicados, de los cuales, en el proceso de extracción de jugo de caña existen graves problemas de discontinuidad en la alimentación de materia prima en las bandas transportadoras de los molinos de caña. La variable a que se manipulo para controlar el nivel de caña es la velocidad del motor que acciona el transportador de caña y la velocidad del molino.

Para la presente investigación se modelo la función de transferencia del molino y se diseñó el control PID en base a simulaciones en el software Matlab, una vez probadas dichas simulaciones, se tomaron los parámetros de sintonización del control multivariable y se programó el control PID en el PLC implementado en la maquinaria del molino, dando resultados muy alentadores en cuanto a optimización del consumo energético.

Este trabajo llegó a la conclusión la importancia que tiene el implementar estrategia de control en el primer molino, ya que, si bien no se mejoró la velocidad de producción, se redujo el consumo energético en un 2.88%, lo que representa un ahorro económico para la empresa, dicho ahorro se ha conseguido sin una inversión inicial ya que solo se necesitó reprogramar el controlador del molino junto al personal de planta de la empresa.

**Palabras clave.** Control predictivo de modelos, nivel de caña, ingenio azucarero.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD  
MENCION SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

**Título: “Diseño de un sistema de control en la tolva de alimentación del primer molino de extracción de jugo de caña para mejorar la calidad de producción (MALCA)”**

**Author:Ing.** Johanna Marivel Medina Palta

**Tutor:** PhD. Rommel Suárez.

**ABSTRACT**

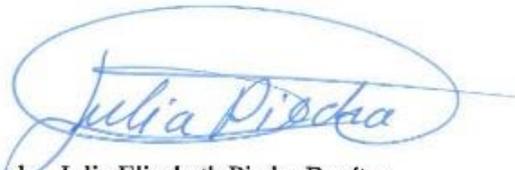
Traditionally, in sugar mills there have been a series of processes involved, of which, in the cane juice extraction process, there are serious problems of discontinuity in the feeding of raw material in the conveyor belts of cane mills. The variable that is manipulated to control the level of cane is the speed of the motor that drives the cane conveyor and the speed of the mill.

For the present investigation, the transfer function of the mill was modeled and the PID control was developed based on simulations in the Matlab software, once these simulations were tested, the tuning parameters of the multivariable control were taken and the PID control was programmed in the PLC implemented in the mill machinery, giving very encouraging results in terms of optimization of energy consumption.

This work concluded the importance of implementing a control strategy in the first mill, since, although the production speed was not improved, energy consumption was reduced by 2.88%, which represents economic savings for the company, said savings have been achieved without an initial investment since it was only necessary to reprogram the mill controller together with the company's plant personnel.

**Keywords.** Predictive control of models, cane level, sugar mill.

Yo, Julia Elizabeth Piedra Benítez, con cedula de identidad 1103670475 Licenciada en Ciencias de la Educación Mención Idioma Inglés en con número de registro de la SENESCYT; 1008-16-1453558 CERTIFICO haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: **“Diseño de un sistema de control en la tolva de alimentación del primer molino de extracción de jugo de caña para mejorar la calidad de producción (MALCA)”** de Johanna Marivel Medina Palta aspirante a Magister en Electricidad, Mención Sistema Eléctrico de Potencia.



Leda. Julia Elizabeth Piedra Benítez

1103670475

Loja noviembre , 23, 2022

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>PORTADA</b> .....	I
AVAL DEL TUTOR.....	II
AVAL DEL TRIBUNAL.....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
RESPONSABILIDAD DE AUTORA.....	VI
RENUNCIA DE DERECHO.....	VII
AVAL DE PRESIDENTE DEL TRIBUNAL .....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	1
INTRODUCCIÓN .....	5
Planteamiento del problema:.....	6
Formulación del problema: .....	7
Objetivos .....	7
General:.....	7
Específico:.....	7
Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos:.....	8
Justificación .....	10
Hipótesis.....	11
CAPITULO I.....	12
1. Fundamentación teórico- metodológica.....	12
1.1. Antecedentes de la investigación .....	12
1.2. Fundamentos teóricos .....	13
1.2.1. Descripción del proceso de extracción de jugo de caña .....	13
1.2.2. Variables a considerarse en la extracción de sacarosa. ....	18
1.2.3. Control de los molinos .....	18
1.2.3.1 Modelo Matemático.....	19
1.2.4. Función de transferencia de los molinos de caña de azúcar .....	25

1.2.5.	Lazos de control .....	29
1.2.5.1	Clasificación de los sistemas de control .....	29
1.2.5.1.1	Control de Lazo Abierto .....	30
1.2.5.1.2	Control de Lazo Cerrado.....	30
1.2.6.	Controlador PID .....	31
1.2.6.1.	Bloque PID. ....	32
1.2.6.2.	Funcionamiento .....	32
1.3.	Fundamentación metodológica. ....	34
1.3.1.	Enfoque .....	34
1.3.2.	Tipo de investigación .....	34
1.3.2.1.	Caso de estudio .....	34
1.3.2.2.	Enfoque descriptivo .....	34
1.3.2.3.	Enfoque explicativo .....	34
1.3.2.4.	Componente histórico .....	35
1.3.3.	Técnicas de recolección de información .....	35
1.3.4.	Definición de hipótesis o supuestos de partida.....	35
1.3.5.	Procedimientos empleados para análisis de información .....	36
1.3.5.1.	Método analítico .....	36
1.3.5.2.	Método sintético .....	36
1.4.	Conclusiones .....	36
1.5.	Título del proyecto .....	37
1.5.1.	Objetivo del proyecto .....	37
1.6.	Justificación de la propuesta .....	37
1.7.	Fundamentación de la propuesta.....	38
1.8.	Metodología o procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados .....	38
1.8.2.	Selección de equipamiento .....	50
1.8.3.	Descripción de los diagramas eléctricos de control .....	51
1.8.3.1.	Diagrama de flujo de la extracción de Jugo de Caña del Primer molino.	52
1.8.3.2.	Diagrama de fuerza y control del variador del molino .....	53
1.9.	CONCLUSIONES .....	55

2. CAPÍTULO III.....	56
2.1. APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA .....	56
2.2. Reducción de consumo energético.....	60
2.3. CONCLUSIONES .....	62
2.4. RECOMENDACIONES .....	62
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS: .....	64
<b>ANEXOS</b> .....	66

### ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Condiciones nominales y máximas de operación de un molino .....	17
TABLA 2. Valores de operación del molino nro. 1 .....	41
TABLA 3. Medidas interiores y exteriores de la tolva .....	41
TABLA 4. Descripción de entradas y salidas consideradas .....	46
TABLA 5. Variables de control. ....	56
TABLA 6. Equipos a implementar en control de nivel de chute .....	57
TABLA 7. Consumo antes y después del control pid.....	60
TABLA 8. Ahorro total generados a la empresa.....	61

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Vista panorámica del área de Molinos. ....	13
Figura 2.- Partes que conforman el molino de caña [6] .....	14
Figura 3.- Entrada y salidas del proceso de molienda de caña de azúcar .....	15
Figura 4.- Esquema de área de extracción de jugo de caña .....	16
Figura 5.- Esquema del molino por accionamiento por motor eléctrico [10] .....	17
Figura 6.- Aproximación esquemática de la tolva de alimentación .....	21
Figura 7.- Esquema de los sensores de altura de la tolva.....	24
Figura 8.- Proceso de extracción de jugo de caña [12] .....	26
Figura 9.- Arquitectura del predictor de Smith [12] .....	27
Figura 10.- Modelamiento de simulink [12] .....	28
Figura 11.- Diagrama de control y el tiempo al que se estabiliza el control [12] ..	29
Figura 12. Sistema de Control de Lazo Abierto.....	30
Figura 13. Sistema de Control de Lazo Cerrado [14] .....	31
Figura 14. Control PID [8].....	31
Figura 15 Diagrama de Control PID [8] .....	27

Figura 16 Diagrama de flujo de propuesta.....	33
Figura 17. Código para importar datos de operaciones a Matlab .....	43
Figura 18. Asistente de generación de funciones de transferencia .....	43
Figura 19 Configuración de parámetros para función de transferencia .....	44
Figura 20 Función de transferencia estimada .....	44
Figura 21. Respuesta del modelo estimado a un impulso .....	45
Figura 22. Control multivariable de lazo cerrado .....	46
Figura 23. Sistema modelado en simulink .....	47
Figura 24. Parámetros del control PID para la entrada 1 .....	48
Figura 25. Parámetros del control PID para la entrada 2 .....	48
Figura 26. Respuesta de la salida 1 .....	49
Figura 27. Respuesta de la salida 2 .....	49
Figura 28. Variable identificada dentro del proceso de extracción del primer molino .....	50
Figura 29. Parámetro del controlador del PID de jugo crudo .....	58
Figura 30. Rutina generada PID_ JUGO_CRUDO.....	59
Figura 31. Parámetro del controlador del PID control de Velocidad 1.....	59
Figura 32. Rutina generada PID_ CONTROL_VEL_MOL_1 .....	60

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	19
Ecuación 2.....	19
Ecuación 3.....	20
Ecuación 4.....	20
Ecuación 5.....	20
Ecuación 6.....	21
Ecuación 7.....	22
Ecuación 8.....	23
Ecuación 9.....	23
Ecuación 10.....	23
Ecuación 11.....	23
Ecuación 12.....	23
Ecuación 13.....	24
Ecuación 14.....	24
Ecuación 15.....	25
Ecuación 16.....	25
Ecuación 17.....	27
Ecuación 18.....	27

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enfoca en la eficiencia energética en el área de extracción de jugo de caña, en el Ingenio Monterrey Azucarero Lojano, proponiendo en óptimo el control industrial, con el fin de reducir el consumo de energía eléctrica, para ello se debe implementar un control más eficiente para que la entrada de la tolva que alimenta el molino, tenga un suministro de caña continuo y no se requiera que los operadores varíen manualmente la velocidad del transportador de la entrada en el molino.

En primer lugar, la caña cortada es llevada por el transportador de caña a la trituradora que corta la caña en pedazos y los transforma en fibras de alrededor de 1-2 cm. Estas fibras luego se alimentan a la tolva Donnelly de aproximadamente 3 metros de altura. Desde la base de este chute, las fibras pasan por una secuencia de 5 molinos trituradores los cuales extraen el jugo crudo. Luego de la extracción, el producto de desecho residual que se denomina bagazo es enviado a la sección de turbina de caldera donde se quema para producir vapor a alta presión para hacer funcionar la turbina y generar electricidad.

### **Planteamiento del problema:**

El proceso de extracción de jugo de caña de una molienda afecta o favorece a la producción de la azúcar, y por ende se verá reflejado en la rentabilidad económica de cada fábrica. Dicho proceso de extracción se realiza a través de una serie de molinos que separan el jugo de la fibra de la caña.

La producción de azúcar en el Ecuador, es realizado por 6 ingenios: La troncal, San Carlos, Valdés, Isabel María, IANCEM y Monterey, siendo los tres primeros quienes producen el 90% de la producción nacional. En la provincia de Loja se encuentra ubicado el Ingenio Monterey Azucarera Lojana, localizado en el cantón Catamayo, que se encarga de la producción de azúcar de caña en todo el año. El periodo inter zafra lo realizan entre marzo y abril, en donde realizan trabajos de reparación y mantenimiento de su maquinaria.

Actualmente el proceso de extracción de jugo de caña se encuentra funcionando con un sistema de control manual, el mismo que está conformado con contactares botoneras, control de velocidad local y remota de los molinos, además existen dos sensores de nivel de solido de punto fijo ubicados en el primer donelly ò tolva.

Como el área de molienda es relativamente grande, dado que involucran cinco grandes molinos, los dos operadores que trabajan en este espacio deben permanecer de pie alertas y moviéndose de un lado a otro, aun así, no es suficiente observar todo el proceso continuamente.

En la actualidad se arrancan y se paran los motores tanto de los transportadores y molinos continuamente, para evitar tanto que la tolva el sólido o bagazo de caña se desborde y bagazo atasque las mazas de los molinos se toma la acción de encendido y apagado de los mismos. Cabe indicar que el primer molino es el primordial su funcionamiento óptimo en el proceso debido que extraer la mayor

cantidad de jugo de caña, dicho jugo extraído es conducido directamente al proceso de evaporización.

Por tal motivo se propone el tema de investigación “Diseño de un sistema de control de la tolva de alimentación del primer molino de extracción de jugo para el Ingenio Azucarero Lojana (MALCA)” con el fin de mejorar la calidad de producción”, para sustituir el sistema de control manual.

### **Formulación del problema:**

Dado el proceso de extracción de jugo de caña, el cual tiene un sistema de control mínimamente automatizado, que requiere que un operador controle manualmente los parámetros del proceso, por ejemplo, la velocidad de los motores de los molinos y bandas transportadoras, surge la necesidad de optimizar el proceso mediante un sistema de control, el cual, a más de prescindir de la intervención constante de los operadores, se pretende optimizar el accionamiento de los actuadores presentes en el proceso para mejorar la calidad del producto generado y optimizar el consumo energético del conjunto.

### **Objetivos**

#### **General:**

- ✓ Diseño de un control PID para la etapa de alimentación del primer molino de extracción de jugo de caña para reducir el consumo energético en los molinos del ingenio azucarero (MALCA).

#### **Específico:**

- ✓ Determinar el estado del arte y sistemas de control para optimizar el proceso de extracción de jugo de caña en el primer molino.

- ✓ Definir la función de transferencia del molino en el ingenio azucarero para cuantificar el impacto del control automático en la etapa de suministro de caña.
- ✓ Modelar y simular el sistema de control para la etapa de alimentación del primer molino de extracción de jugo de caña en el Ingenio Moterrey Azucarero Lojana (MALCA).
- ✓ Proponer una alternativa de control más eficiente para el primer molino de extracción de jugo del Ingenio Azucarero Lojana (MALCA) para reducir el consumo energético mediante un análisis económico financiero y así determinar la viabilidad de la propuesta generada.

**Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos:**

<b>Objetivo específico</b>	<b>Actividad (tareas)</b>	<b>Resultados de las actividades</b>	<b>Descripción de la actividad (técnica)</b>
Determinar el estado del arte y sistemas de control para optimizar el proceso de extracción de jugo de caña en el primer molino.	<p>Visitas técnicas del área de molienda</p> <p>Revisión bibliográfica del área técnica de molienda</p> <p>Determinación de modelo y sistemas de control adecuados</p>	<p>Determinar los diferentes procesos</p> <p>Determinar los métodos y sistemas de control para optimizar los recursos de la planta</p>	<p>Observación las variables que intervienen el proceso de extracción de jugo de caña del primer molino</p> <p>Revisión bibliográfica de las diferentes arquitecturas de control existentes en los molinos de caña de azúcar</p>

Definir la función de transferencia del molino en el ingenio azucarero para cuantificar el impacto del control automático en la etapa de suministro de caña.	Modelar la función de transferencia.  Definir el procedimiento de modelamiento que de mejores resultados	Función de transferencia del molino.	Modelamiento de la función de transferencia en Matlab en base a los datos históricos del molino
Modelar y simular el sistema de control de nivel en la tolva de alimentación del primer molino de extracción de jugo de caña en el Ingenio Moterrey Azucarero Lojana (MALCA).	Obtención del modelo del primer molino para la extracción de jugo de caña  Simulación de algoritmo de control idóneo	Modelo aproximado utilizando herramienta de identificación  Resultado de estadísticas de las variables del control	A partir de la herramienta IDENT de Matlab se obtiene un modelo aproximado de la planta.  Programar el sistema control apropiado en MATLAB.
Proponer una alternativa de control más eficiente para el primer molino de extracción de jugo del Ingenio Azucarero Lojana (MALCA) para reducir el consumo energético mediante un análisis económico financiero para determinar la viabilidad de la propuesta generada.	Estudio de mercado de la propuesta adecuada	La propuesta más idónea para la socialización de la misma	Realizar la propuesta de control más eficiente.

## **Justificación**

El sistema empleado en el proceso de extracción de jugo de caña en las industrias azucarera y panelera en todos los países durante años anteriores es mediante compresión, un sistema muy antiguo donde las máquinas son similares a las empleadas en la trituración de rocas.

En los principales países productores de azúcar de América Latina, se presenta un retraso en sus formas de operar, de acuerdo a estudios realizados de la actividad agrícola exceptuando algunos casos aislados, este aplazamiento es de 50 años en tecnologías de decantación, es decir, 20 años superados en tecnologías de producción y 30 años en tecnologías de extracción. A esto se suma falta de instrumentación y automatización de los molinos.

Extraordinariamente, existen en otros países productores de azúcar otras industrias modernas que cuentan con procesos actualizados en toda la gestión productiva en la elaboración de la azúcar. En cuanto a la difusión, algunas organizaciones cubanas y brasileños instalaron emisoras hace unos años, con el fin de potencializar sus producciones, pero lamentablemente esto no surgió. A pesar de ello estas unidades funcionan bien y tienen ventajas sobre las unidades convencionales

Actualmente la empresa se encuentra en una renovación tecnológica de todos sus procesos que son indispensables para mejorar la productividad, aumentar la calidad del producto final, además de aumentar la seguridad en el trabajo. Para conseguir estos objetivos la empresa debe utilizar tecnología de vanguardia como ordenadores y software especializados en el control en los procesos industriales

La mayor razón por la que se pretende realizar este proyecto es por amplias posibilidades que ofrecen los sistemas de control y la gran demanda que hay en el mercado industrial. Además, que con un sistema de control adecuado para la

empresa que pueden ahorrar una gran cantidad de recursos humanos y económicos, así como el de poder competir con precios razonables.

### **Hipótesis.**

El sistema de control propuesto permitirá reducir el consumo energético en el proceso de extracción de jugo de caña en el primer molino (MALCA) hasta en un 2% del consumo energético total del molino.

# CAPITULO I

## Fundamentación teórico- metodológica

### 1.1. Antecedentes de la investigación

En el artículo 413 de la Constitución de la República del Ecuador, manifiesta que el Estado debe promover la eficiencia energética, en el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto. [1]

El Reglamento de Alimentos Ecuatorianos se menciona la importancia del sistema de control y aseguramiento de la inocuidad, el mismo que debe realizarse en todas las etapas ò procesos que involucran el procesamiento del alimento desde la recepción de materias primas hasta el producto terminado. En el sistema debe considerarse como mínimo aspectos de mucha índole como: documentación de la planta, equipos y procesos.

La producción de azúcar en el Ecuador es realizada por seis ingenios azucareros tales como: La Troncal, San Carlos; Valdés; Isabel María; IANCEM y Monterrey, siendo los tres primeros quienes producen el 90 % de la producción nacional de azúcar.

En el 2016, existe una publicación con el tema “Estudio, Diseño e Implementación de un Sistema de Control de Niveles de Jugo y Mieles para el Procesamiento de Azúcar del IANCEM” enfocándose en la calidad de extracción del jugo de caña, cantidad de energía requerida en el proceso de molienda, así como también tiempos de producción. [2]

El control de procesos industriales se da tanto como la toma de medición y el análisis de las variables que determinan el funcionamiento de un proceso

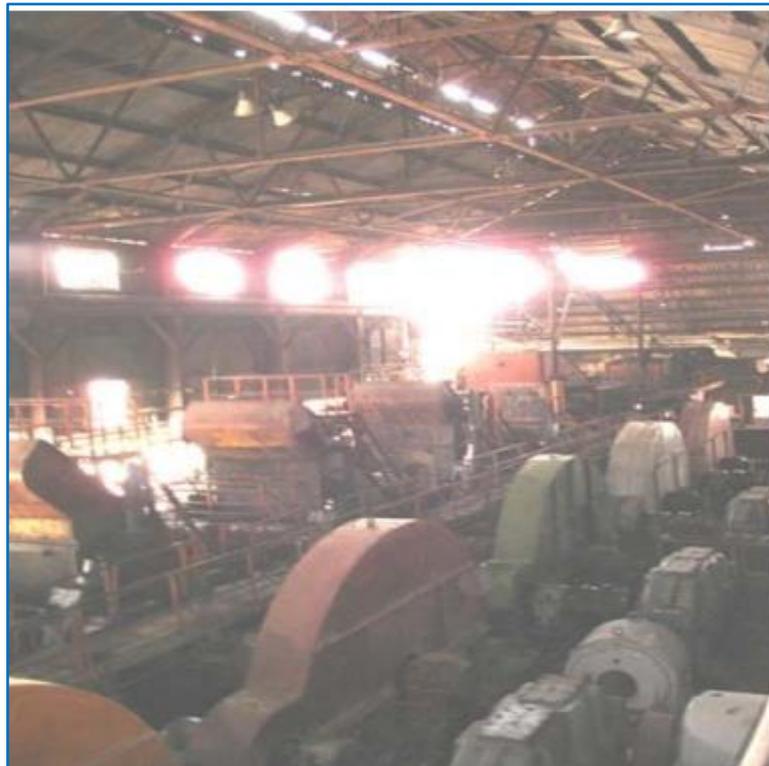
determinado, al igual que la toma de decisiones y la ejecución de acciones de control para gobernar dicho proceso. [3]

## **1.2. Fundamentos teóricos**

### **1.2.1. Descripción del proceso de extracción de jugo de caña**

Para llevar a cabo la extracción de jugo de caña de azúcar se debe realizar varias etapas de proceso como son: cultivo y transporte de caña, patio de caña, análisis de la caña de azúcar, que son procesos importantes previos a la molienda.

El tren de molinos también conocido como Tándem es una de las áreas de mayor importancia dentro de la industria, es donde se realiza la molienda, es decir, la extracción del jugo a la caña, por lo que su trabajo es el punto de partida del balance de masa y energía de la fábrica. (Figura 1) [4]



**Figura 1.-** Vista panorámica del área de Molinos.

Durante el proceso de molienda, se debe tener en cuenta que, para obtener resultados satisfactorios en la elaboración del azúcar, es primordial la calidad de la preparación de la caña, es decir, mientras más picada esté al llegar al área de molienda, los molinos harán su trabajo con mayor eficiencia.

Cada molino está formado totalmente por tres mazas, estas con; maza cañera, maza superior y maza bagacera, y una cuarta llamada presión [5]. Cabe resaltar que en cada molino del tandem, en forma gradual, se reduce la abertura o setting entre las masas, para mejorar la extracción de la sacarosa en la caña (Figura 2).

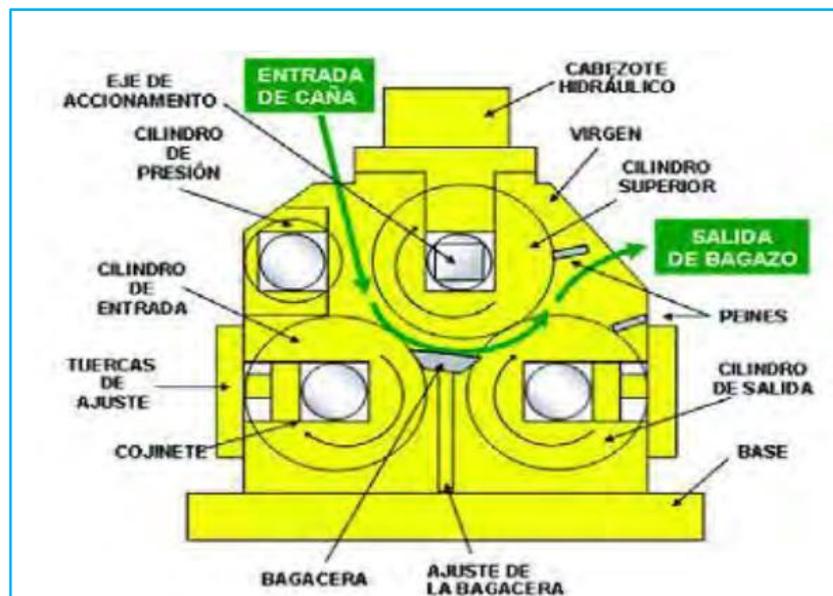


Figura 2.- Partes que conforman el molino de caña [6]

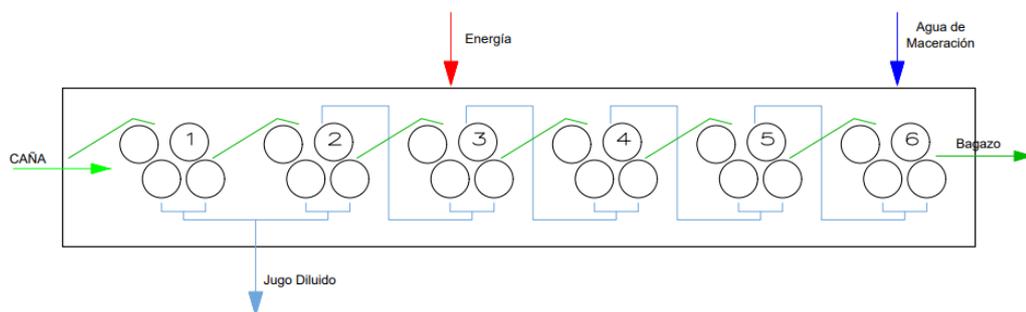
La velocidad de los molinos oscila entre 4 y 7 R.P.M. dependiendo de la estrategia de producción por parte del departamento de molienda de cada ingenio, y ya que la velocidad de una turbina es de 4000 R.P.M. aproximadamente se hace necesario una cadena de reductores que reduzcan esta velocidad. [6]

Las proporciones de los componentes varían de acuerdo con la variedad de la caña, sin embargo, unos valores de referencia general pueden ser: agua entre 73% a 76%,

sacarosa entre 8% al 15% y fibra entre 11% y el 16%. El porcentaje de solidos que se encuentran el 100% del jugo se denomina Brix [7].

El objetivo en el primer molino, es extraer casi el 70% del jugo y el resto queda en el bagazo el cual pasa al siguiente molino por medio de otra banda que opera a velocidad fija y así sucesivamente hasta el sexto. El bagazo que sale del último molino se lleva a calderas como combustible [8].

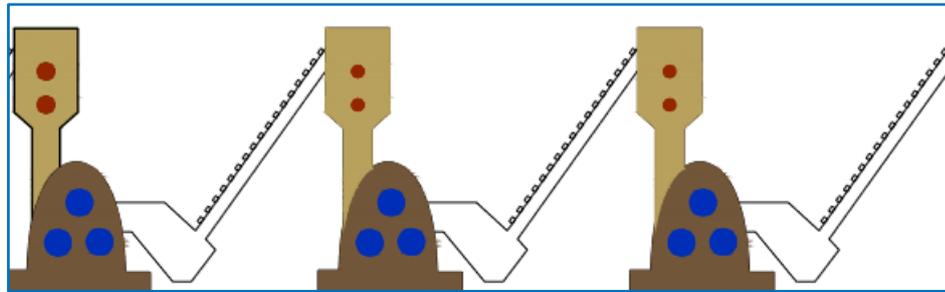
A la entrada del último molino se adiciona agua de imbibición para diluir el jugo y extraer la sacarosa que contiene el material fibroso; el contenido de jugo que resulta de cada extracción, se envía al molino anterior y así sucesivamente hasta el segundo. El jugo extraído del primer molino junto con el extraído en el segundo molino va a la siguiente etapa del proceso de elaboración de azúcar, el jugo total extraído normalmente presenta entre un 15% a 20% de Brix. [7].



**Figura 3.-** Entrada y salidas del proceso de molienda de caña de azúcar [8]

El bagazo que sale del último molino se lleva a caldera como combustible. A la entrada del último molino se adiciona agua de imbibición para diluir el jugo y extraer la sacarosa que contiene el material fibroso; el contenido de jugo que resulta de cada extracción, se envía al molino anterior y así sucesivamente hasta el segundo. El contenido de jugo extraído por el primero y segundo molino es enviado a la etapa de proceso (Figura 2) [8] .

Cada molino tiene un donelly o tolva que tiene forma de un gran recipiente o contenedor el objetivo de este es retener el bagazo que es transportado por un conductor de rastrillos, el mismo debe pasar por un proceso de rotación de las mazas y la aplicación de presión se puede extraer el jugo o sacarosa del bagazo como se observa en la Figura 4.

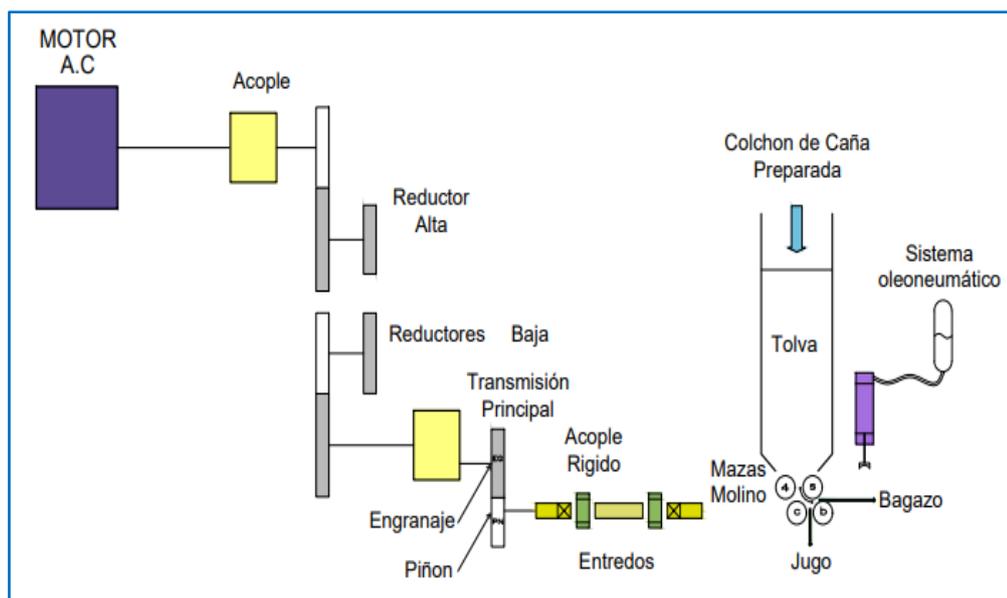


**Figura 4.-** Esquema de área de extracción de jugo de caña [9]

Para reducir el deslizamiento del bagazo con las masas y la reabsorción (proceso en el cual, el jugo que ha sido extraído por el molino, es absorbido nuevamente por el bagazo saliente), los estudios muestran que la máxima velocidad tangencial de la maza superior es 300 mm/s, ya que por encima de esta velocidad se genera un mayor coeficiente de reabsorción y deslizamiento entre el bagazo y las mazas. [8]

El bagazo que sale de los molinos tiene aproximadamente 50% de humedad, 2 a 3% de sacarosa y 47% de fibra, por lo cual es muy importante tener un proceso eficaz, con el fin de evitar pérdidas de sacarosa en el bagazo comprimido saliente del proceso, cabe recalcar que también es empleado para las fábricas de papel o de tableros aglomerados y la producción de energía eléctrica.

En la Figura 5, representa el esquema de los molinos accionados por motor eléctrico. Éste se alimenta de energía eléctrica para convertirla en movimiento rotacional. Puede girar a 1800, 1200 ó 900 rpm, tiene una relación de transmisión más pequeña 360 a 1, y por ende menos transmisiones mecánicas y menos fricción en vacío. [10]



**Figura 5.-** Esquema del molino por accionamiento por motor eléctrico [10]

Se considera las siguientes características en el molino que opere en sus condiciones nominales y máximas como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.** Condiciones nominales y máximas de operación de un molino

	<b>Condiciones Nominales</b>	<b>Condiciones Máximas</b>
Toneladas de caña molidas	180 toneladas	200 toneladas
Altura del chute o tolva	80%	100%
Porcentaje de Fibra	14 %	16.5%
Velocidad angular del eje que une las transmisiones mecánicas y las mazas del molino	5 rpm	5.5 rpm
Presión Hidráulica promedio	2500 psi	2700 psi
Ajuste de mazas	Nominales	Máximas

Se debe tener en cuenta que el rango de operación del molino es de 4 a 5.5 rpm, la relación de transmisión de accionamiento con motor se estima de 360 para que el motor funcione cerca de la velocidad nominal en las condiciones nominales. [10]

### **1.2.2. Variables a considerarse en la extracción de sacarosa.**

**Velocidad de los molinos:** Oscila entre 4 y 7 rpm. dependiendo de la estrategia de producción por parte del departamento de molienda de cada ingenio, y ya que la velocidad de una turbina es de 4000 r.p.m. aproximadamente.

**Nivel de la tolva.** Una de las variables más importantes en la estrategia de control en un ingenio es el nivel del chute o tolva en el primer molino el cual tiene que ver con el control de velocidad del conductor o transportador metálico que conduce la caña hacia el primer tándem o molino.

**Presión hidráulica:** La presión hidráulica ejercida a los cabezotes de los molinos mediante émbolos de aceite se ejerce una presión entre 2500 a 2800 psi.

### **1.2.3. Control de los molinos**

En la Figura 3. se observa un diagrama tomando en consideración entradas y salidas que intervienen en el proceso de molienda de caña de azúcar de un ingenio, donde lo que está entrando es un flujo de caña con cierto grado de preparación (materia prima), se adiciona agua de maceración para ayudar a la extracción, y energía para mover las transmisiones mecánicas y los molinos, lo que sale es jugo de caña diluido en agua que va hacia los evaporadores y bagazo con alto contenido de agua, que se utiliza en las calderas como combustible para la generación de energía. Se debe tener en cuenta que el agua que se adiciona se debe retirar en un proceso posterior para producir azúcar y el bagazo de salida debe contener la menor cantidad de agua para ser utilizado como combustible.

El propósito del proceso de molienda es maximizar la extracción, minimizando las pérdidas de sacarosa en el bagazo (usualmente se pierde entre el 1 – 2 % sacarosa en bagazo), y a la vez, que el proceso se pueda realizar con bajo consumo de energía, que el bagazo de salida contenga la menor cantidad de agua (usualmente se observan humedades del bagazo de salida hasta del 54 %) para que pueda desarrollar buena combustión en las calderas y que el agua adicionada para ayudar a la extracción sea la mínima.

### 1.2.3.1 Modelo Matemático

- **Ecuación Mecánica del Molino**

La segunda ley de Newton se utiliza para el sistema rotacional del molino entre la relación exacta entre fuerza y aceleración matemáticamente:

$$m_M(t) - m_L(t) = J \frac{dw(t)}{dt} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

$$m_M(t) = \text{Par motor}$$

$$\omega(t) = \text{Velocidad angular del accionador}$$

$J$  = Momento de inercia equivalente de las transmisiones mecánicas, las mazas y de las coronas referidas al eje del accionamiento.

$$m_L(t) = \text{Par de carga}$$

- **Ecuación del par de carga  $m_L$  se define como:**

$$\mathbf{m_L} = K_{mfb\phi_s} + f_{fsing(w)} + \sum_{n=i}^1 B \sin(w_i t) + f(t) \quad \text{Ecuación (2)}$$

**Donde:**

$K_{mfb}$  = Constante que relaciona el par con el flujo de bagazo,

$B_i$  = Amplitudes a diferentes frecuencias

$w_i$  = Relación de armónicos del par medidos por el contacto de dientes de las ruedas, desalineamientos, excentricidades y efectos desconocidos.

$f_f$  = Constante que relaciona el par debido a la fricción como función de la velocidad angular

$f(t)$  = Función de ruido aleatorio.

- **Ecuación de la velocidad de la maza superior  $\omega_{ms}(t)$ .**

$$w_{ms}(t) = \frac{w(t)}{n}$$

**Ecuación (3)**

**Donde:**

$\eta$  = Relación de engranajes de toda la transmisión.

- **Ecuación del par en el eje de la maza superior  $m_{ms}$ :**

$$m_{ms}(t) = n\eta mt(t)$$

**Ecuación (4)**

**Donde:**

$\eta$  = Eficiencia del tren de engranajes,

$mt$  = Par en el eje del accionado.

### 1.2.3.2 Control de nivel de la tolva

El principal objetivo de la tolva de alimentación es mantener el nivel de bagazo dentro de las condiciones establecidas, suavizar las variaciones del flujo de alimentación de bagazo y suministrar una alimentación uniforme a las mazas de los molinos.

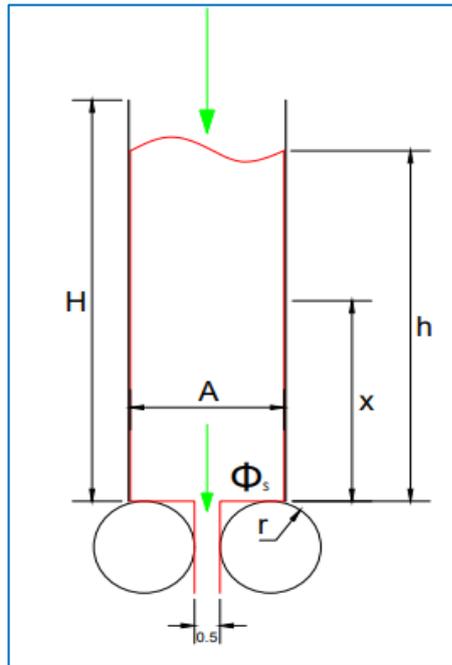


Figura 6.- Aproximación esquemática de la tolva de alimentación

- **Ecuación del balance de masa de la tolva de alimentación:**

$$\Phi_e(t) - \Phi_s(t) = \frac{d\phi}{dt} \quad \text{Ecuación (5)}$$

**Donde:**

$\Phi_e(t)$  = Flujo de masa que está entrando a la tolva

$\Phi_s(t)$  = Flujo de masa que está saliendo de la tolva y que entra a las mazas de los molinos

$\frac{d\phi}{dt}$  = Variación de la masa en la tolva

La función de densidad del bagazo (compactación)  $\rho(x, h)$  en la tolva de alimentación depende del número del molino donde esté ubicado la tolva y de la altura de la tolva.

- **El flujo de masa a la salida del molino se puede considerar como:**

$$\dot{\phi}_s(t) = FK_{wf} A_s v(t) \rho(0, h) = FK_{wf} A_s r \frac{w(t)}{n} \rho(0, h) \quad \text{Ecuación (6)}$$

**Donde:**

$K_{wf}$  = Constante proporcional

$\rho(0, h)$  = Densidad del bagazo a la salida de la tolva,

$L$  = Largo de la masa superior

$a_s$  = Ancho o espacio de separación entre la maza superior y cuarta

$A_s = la_s$  área transversal generada entre la maza superior y cuarta.

- **Ecuación de velocidad tangencial de la maza superior  $v(t)$ :**

$$v(t) = r\omega s(t) = r \frac{w(t)}{n} \quad \text{Ecuación (7)}$$

$F$  = Constante que puede variar entre  $0,5 \leq F \leq 1$ , esta constante depende de la calidad de superficie rugosa de las mazas (tiempo de operación de las mazas) y modela el deslizamiento entre el bagazo y la superficie de las mazas.

- **Ecuación de la masa total  $\phi$  en la tolva en un tiempo  $t$  es:**

$$\phi(t) = \int_{x_1}^h A\rho(x, h)dx \quad \text{Ecuación (8)}$$

**Donde:**

$A =$  Área transversal de la tolva de alimentación

- **Ecuación del balance de masa en la tolva:**

$$\phi_e(t) - \phi_s(t) = \frac{d\phi}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{x_1}^h A\rho(x, h)dx \quad \text{Ecuación (9)}$$

**Donde:**

$\phi_e(t)$  = Flujo de bagazo que entra a la tolva

$\rho$  = Función de la densidad, condiciones climatológicas, variedad y preparación de la caña.

- **Ecuación de la función de densidad de bagazo en la tolva  $q$ :**

$$q = \int_0^h \rho(x, h)dx \quad \text{Ecuación (10)}$$

$$\frac{\partial q}{\partial h} = \rho(0, h) \quad \text{Ecuación (11)}$$

- **Ecuación función de densidad de bagazo en la tolva de alimentación se obtiene:**

$$\phi_e - FK_{wf}A_s r \frac{\omega t(t)}{n} \rho(0, h) = A\rho(0, h) \frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{Ecuación (12)}$$

### 1.2.3.2.1 Control de altura de los sensores en la tolva

En tolva se mide normalmente la altura por una serie de sensores que emiten una señal de estado, espaciados uniformemente a lo largo de la longitud de la tolva, como se muestra en la Figura 7.

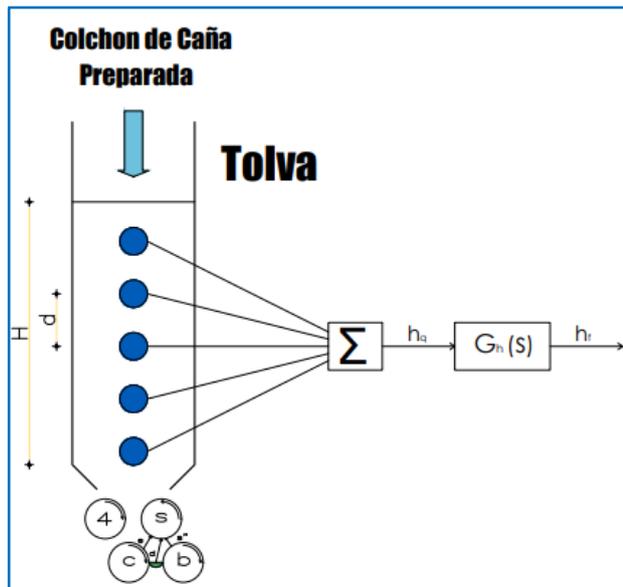


Figura 7.- Esquema de los sensores de altura de la tolva

- **Amplitud promedio de la instalación de los sensores**

$$h_q = \frac{h_0}{n_s} \quad \text{Ecuación (13)}$$

Donde:

$h_0$  = Altura total de la tolva

$n_s$  = Numero de sensores

- **Posición del sensor activo**

$$p_s = \text{fix} \left( \frac{h}{d} \right) \quad \text{Ecuación (14)}$$

**Donde:**

$p_s$  = Posición del sensor activado

$fix$  = Función que redondea hacia el entero inferior más próximo

$h$  = Altura de la tolva  $0 \leq h \leq h_0$

$d$  = Distancia entre los sensores

- **Altura como una función continua cuantizada en amplitud de acuerdo a la posición del sensor activo.**

$$h_q = p_{s*d} \quad \text{Ecuación (15)}$$

**Donde:**

$h_q$  = toma los valores  $0 \leq h \leq h_0$

- **Filtro  $G_h(s)$  antes de ser realimentada la señal  $h_q$**

$$G_h(s) = \frac{h_f}{h_q} = \frac{1}{\tau s + 1} \quad \text{Ecuación (16)}$$

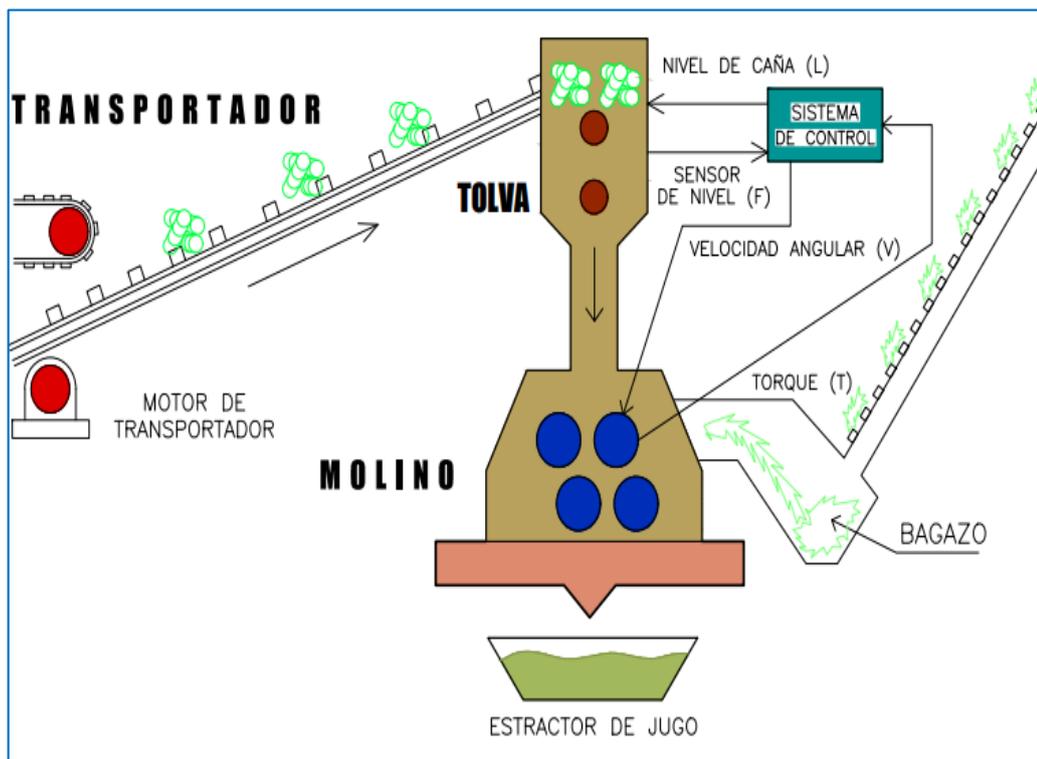
$h_f$  = Función filtrada de altura de bagazo en la tolva

#### **1.2.4. Función de transferencia de los molinos de caña de azúcar**

En la fábrica de azúcar hay una serie de procesos involucrados, de los cuales, el proceso de trituración que extrae el jugo de las fibras de caña de azúcar es el proceso clave que es complejo y de naturaleza no lineal. Para obtener la máxima extracción de jugo, es esencial mantener el nivel de la caña en la tolva en un nivel óptimo. La variable manipulada para controlar el nivel de caña es la velocidad del motor del transportador de caña [11].

El sistema de control debe mantener dos parámetros cruciales, el nivel de la caña (L) y el par o torque de los rodillos (T). Las variables de entrada que son manipuladas por el control del sistema y son la posición de sensores (F) y la velocidad angular de los rodillos (V) (Figura 5).

Ahora la herramienta de identificación del sistema de MATLAB se utiliza para determinar dos funciones de transferencia separadas asumiendo el subproceso completo, que involucra cuatro variables (L, T, F y V), se compone de dos coprocesos separados. Primero es G con entrada F y salida T, y la segunda es G' con entrada V y salida L [12].



**Figura 8.-** Proceso de extracción de jugo de caña [12]

Los modelos resultantes se presentan en las ecuaciones (17) y (18) respectivamente. Se observa claramente que la primera planta tiene la presencia de tiempo muerto de 4 segundos, mientras que la segunda planta es sin tiempo muerto.

$$G(s) = \frac{T(s)}{F(s)} = \frac{-7.2e^{-4s}}{(1+414s)} \quad \text{Ecuación (17)}$$

$$G'(s) = \frac{L(s)}{V(s)} = \frac{-400000}{(1+3.75*10^8s)} \quad \text{Ecuación (18)}$$

Las funciones de transferencia G y G' se las usa para crear el modelamiento de control de lazo cerrado usando el esquema de predictor de Smith, el cual se ilustra en la siguiente figura 9, para definir las funciones de transferencia y el bloque de control proporcional K, además del filtro X, se tomó la referencia de la investigación [Sandeep Kumar SunoriGEHU]; en la que se modela un molino con características muy similares al que se usara en la presente investigación, esto nos permite tener un punto de partida con el cual trabajar y encontrar el control más adecuado para el molino.

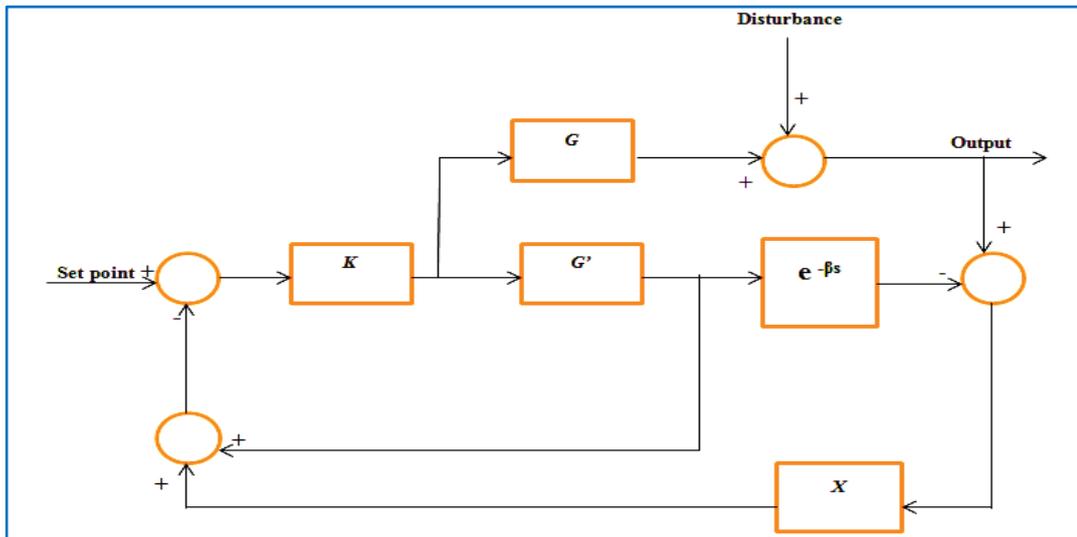
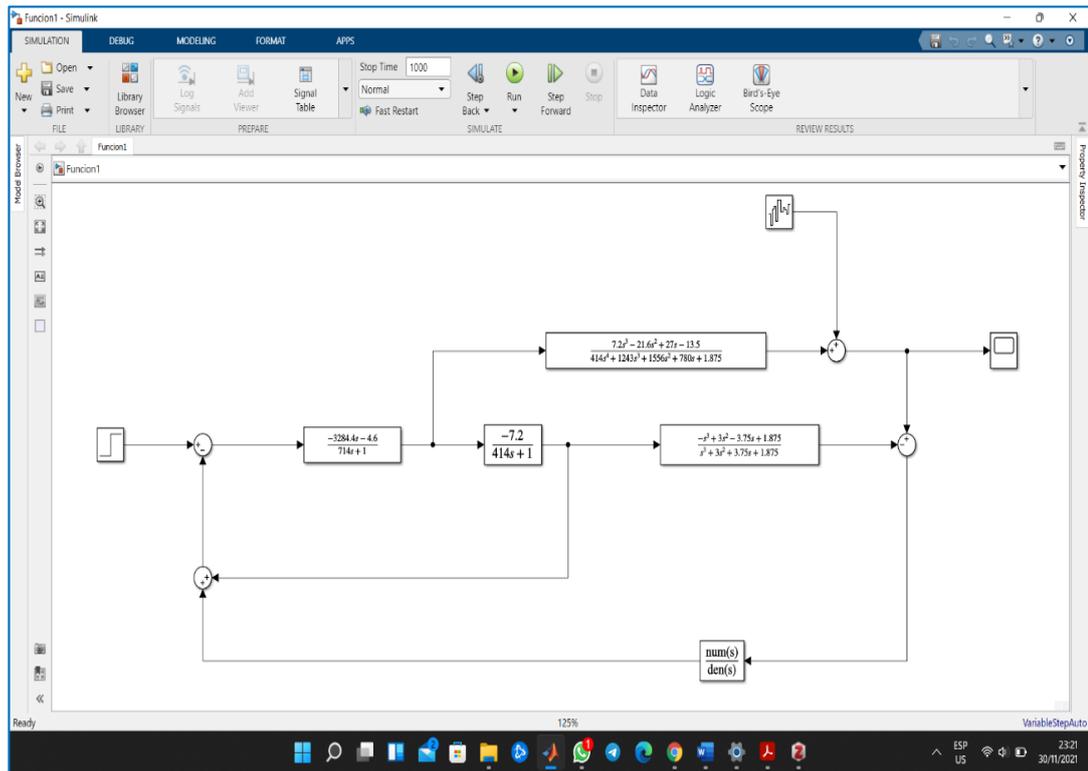


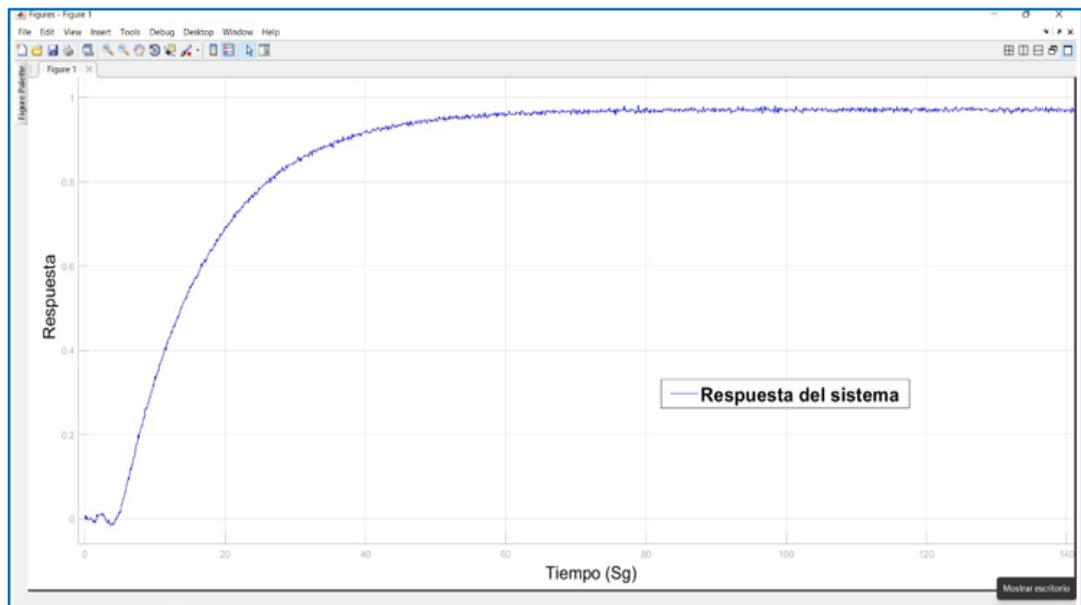
Figura 9.- Arquitectura del predictor de Smith [12]

En la Figura 10, se muestra el modelamiento de simulink correspondiente a la función de transferencia de la planta en un lazo de control cerrado usando un esquema de predictor de Smith, el cual es ampliamente usado en modelamiento matemático para molinos de caña según la bibliografía especializada consultada [12].



**Figura 10.-** Modelamiento de simulink [12]

En la Figura 11, se aprecia el comportamiento del diagrama de control y el tiempo al que se estabiliza el control usando una entrada con un bloque step en Matlab, el control implementado es un PID con únicamente componente proporcional y en el capítulo 2 se definirá una sintonización diferente para obtener mejores resultados o de ser el caso, se puede migrar a un control diferente.



**Figura 11.-** Diagrama de control y el tiempo al que se estabiliza el control [12]

### 1.2.5. Lazos de control

Los primeros estudios de sistema de control se basaban en la solución de ecuaciones diferenciales por los medios clásicos. Salvo en los casos simples, el análisis en este camino es pesado y no indica fácilmente que cambios deben hacerse para mejorar el comportamiento del sistema.

Los sistemas de control deben conseguir los siguientes objetivos:

1. Ser estables y robustos frente a perturbaciones y errores en los modelos.
2. Ser eficiente según un criterio preestablecido evitando comportamientos bruscos e irreales.

#### 1.2.5.1 Clasificación de los sistemas de control

Los sistemas de control pueden ser de lazo abierto o de lazo cerrado basado en que la acción de control sea independiente o no de la salida del sistema que se desea controlar. [13]

### 1.2.5.1.1 Control de Lazo Abierto



Figura 12. Sistema de Control de Lazo Abierto [14]

En los sistemas de control de lazo abierto, no se compara la salida con la entrada de referencia. Por lo tanto, para cada entrada de referencia corresponde una condición de operación fijada, los sistemas de control de lazo abierto son sistemas de control en los que la salida no tiene efecto sobre la señal o acción de control [8].

Los sistemas de lazo abierto son económicos, pero normalmente inexactos. Un sistema de control de lazo abierto es insensible a las perturbaciones; por consiguiente, un sistema de control de este tipo es útil cuando se tiene la seguridad que no existen perturbaciones actuando sobre el mismo. En la práctica solo se puede usar el control de lazo abierto si la relación entre la entrada y la salida es conocida, y si no hay perturbaciones internas ni externas importantes [15].

### 1.2.5.1.2 Control de Lazo Cerrado

Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en el que la señal de salida tiene efecto directo sobre la acción de control. Esto es, los sistemas de control de lazo cerrado son sistemas de control realimentados. La diferencia entre la señal de entrada y la señal de salida se la denomina señal de error del sistema; esta señal es la que actúa sobre el sistema de modo de llevar la salida a un valor deseado. En otras palabras, el término lazo cerrado implica el uso de acción de realimentación negativa para reducir el error del sistema. En la Figura 13 se muestra la relación entrada-salida de un sistema de control de lazo cerrado.

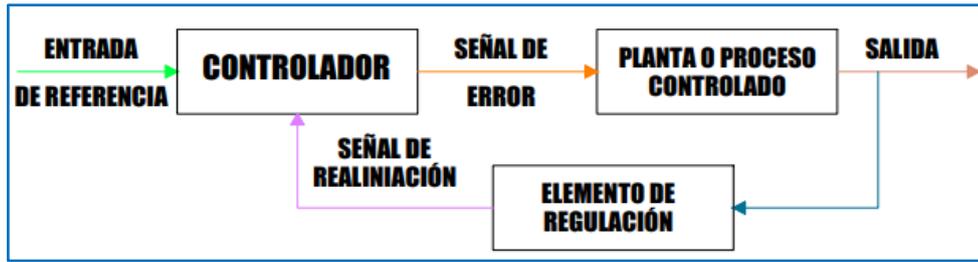


Figura 13. Sistema de Control de Lazo Cerrado [14]

### 1.2.6. Controlador PID

Un **controlador PID** es un mecanismo de control por **realimentación** ampliamente usado en sistemas de control industrial. Este calcula la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado.

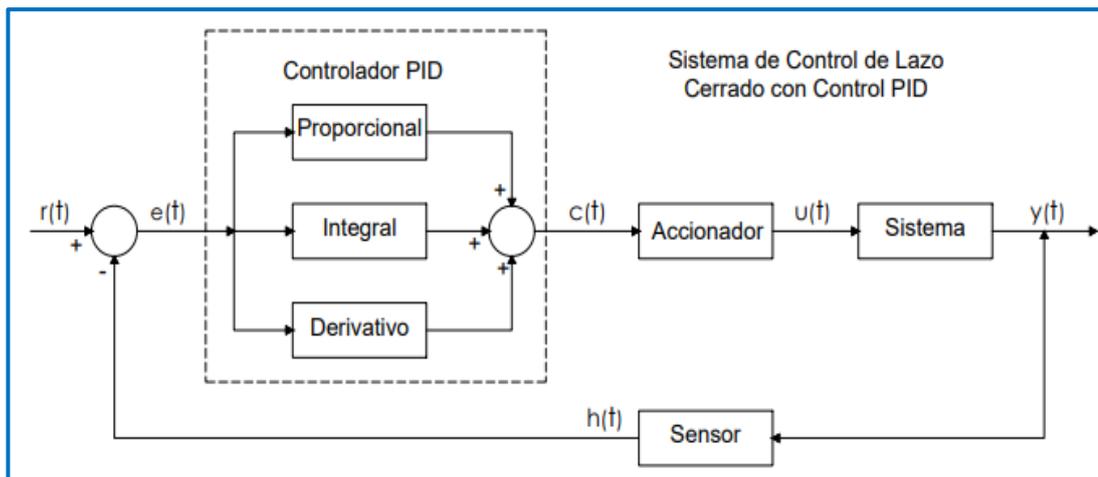


Figura 14. Diagrama de bloques de control PID [8]

Las siglas PID provienen de los tres parámetros de ajuste más importantes del citado bloque, que son a saber, la banda o ganancia proporcional (P), el tiempo integral (I) y el tiempo derivativo (D). El algoritmo del control PID consiste de tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor Proporcional depende del error actual. El Integral depende de los errores pasados y el Derivativo es una

predicción de los errores futuros. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso por medio de un elemento de control como la posición de una válvula de control o la potencia suministrada a un calentador Figura 14.

#### 1.2.6.1. Bloque PID.

En todo proceso industrial existe una señal de proceso, una consigna y una acción de control. Estas tres variables están interrelacionadas entre sí por medio de lo que se denomina un lazo de regulación: Proporcional (P) Integrar (I) Derivativo (D)

#### 1.2.6.2. Funcionamiento

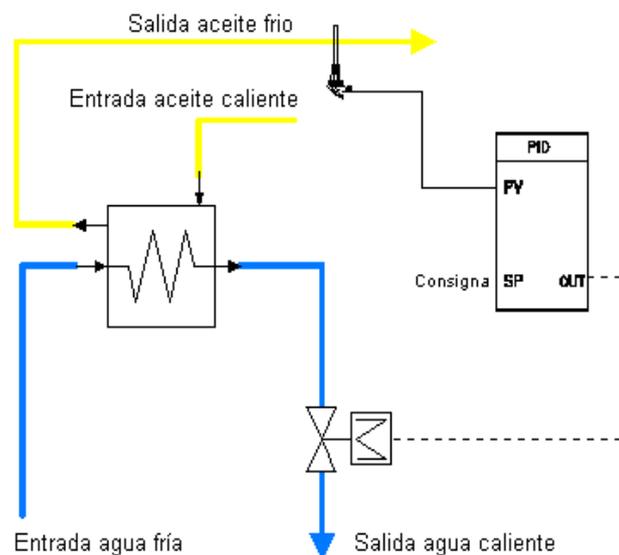


Figura 15. Diagrama de Control PID [8]

En este caso la variable de proceso (**PV**, del inglés *Process Value*) es la temperatura de salida de aceite del intercambiador, la señal de consigna (**SP**, del inglés *Set Point*) es el valor de temperatura que nosotros queremos que tenga dicho aceite y la salida de control (**OUT**, o **CV**, *Output* o *Control Value*, respectivamente y en inglés) es la acción de control que va a producir la apertura o cierre de la válvula motorizada para que entre más o menos agua fría al intercambiador y de esa manera enfríe el aceite a la temperatura que nosotros queramos. La acción de control

intentará que la diferencia entre la consigna SP y el valor de proceso PV se mínima e incluso nula; para ello se dispone de lo que se llama un bloque PID que en función de unos parámetros de ajuste internos variará la salida OUT de manera que así sea. Los bloques PID o bloques de regulación están hoy en día implementados en todos los autómatas y sistemas de supervisión y funcionan según un algoritmo matemático que difiere de unos y otros fabricantes [13].

**La acción P** va a generar una salida de control proporcional al error entre SP y PV. Si este parámetro es la Ganancia Proporcional, dicha acción será directamente proporcional al error; si el parámetro es la Banda Proporcional la acción de control será inversamente proporcional al error entre SP y PV. Hablando claro, para un error dado entre SP y PV, si el bloque PID trabaja con Ganancia proporcional, cuanto mayor sea el valor aquí introducido mayor será la acción de control. Por el contrario, si el bloque PID trabaja con Banda Proporcional, la acción de control será mayor cuanto menor sea el valor del dato introducido para este campo [14].

**La acción I** va a producir un cambio de la acción de control en el tiempo, es decir, va a hacer que la acción de control varíe en sentido ascendente o descendente, aunque el error entre el SP y el PV sea el mismo. Al igual que en el caso anterior hay dos tipos de tiempos integrales, uno viene dado en repeticiones por minuto y otro en minutos por repetición y al igual que en el caso anterior, uno es inverso del otro [13].

**La acción D** va a variar la acción de control en función de la velocidad del proceso, esto es en función de la velocidad con que crece o decrece el error entre SP y PV.

### **1.3. Fundamentación metodológica.**

#### **1.3.1. Enfoque**

La presente investigación tiene un enfoque mixto, ya que si bien es cierto se pretende describir de una forma cualitativa los diseños de control en el proceso de extracción de jugo de caña en el primer molino mediante indicadores de calidad de producción; se busca también mostrar de una forma cuantitativa valores aproximados de ahorro energético que se traducen en dinero que los ingenios se ahorrarán al mantener funcionando dicho proceso.

#### **1.3.2. Tipo de investigación**

##### **1.3.2.1. Caso de estudio**

Esta investigación es un caso de estudio, y como tal, se pretende analizar todas las alternativas viables para una correcta implementación del diseño de control en el proceso de extracción de jugo de caña en el primer molino, como también su impacto en caso de ser implementado dicho diseño.

##### **1.3.2.2. Enfoque descriptivo**

Esta investigación tiene un componente descriptivo ya que se pretende enfatizar las ventajas del diseño de control en el proceso de extracción de jugo de caña en el primer molino al ser aplicado, definiendo sus ventajas y desventajas.

##### **1.3.2.3. Enfoque explicativo**

Este proyecto tiene un componente explicativo ya que pretende explicar los beneficios de implementar un sistema de control para optimizar el proceso de molienda de caña en un ingenio azucarero, ya que esta implementación mejorará los tiempos de procesamiento, el flujo de caña que sale del molino y reducirá levemente los consumos energéticos.

#### **1.3.2.4. Componente histórico**

El presente proyecto se torna una investigación histórica con recopilación de datos de la bitácora de molienda desde 2015-2020, permitiendo desarrollar un análisis prospectivo mediante el uso un esquema de predictor de Smith, como también las ventajas técnicas y económicas al implementar el diseño de Control.

#### **1.3.3. Técnicas de recolección de información**

Para la recolección de se utilizó una investigación descriptiva permitió describir las causas y consecuencias del problema que se refiere a la falta de optimización del proceso de extracción del jugo de caña, para tener una idea clara de la problemática y posteriormente buscar la manera de maximizar dicho proceso para beneficio de la empresa.

Para realizar la alternativa de la propuesta para el control de extracción de jugo de caña se decidió utilizar el modelado de efecto múltiple por lo cual utilizaremos el programa Matlab es un software de simulación capas de modelar sistemas de bloques que se usan en la industria permitiendo un análisis exhaustivo de cada una de las perturbaciones que se pueden presentar en el proceso de simulación en el programa de Matlab. Para poder realizar la simulación utilizando simulink debemos tener presente los datos del fabricante el cual será utilizará para el parametrizaje de cada uno de los bloques obteniendo las ganancias y las perdidas acorde a las constantes de tiempo permitiéndonos tener como resultados matrices (fila) donde se ubica los coeficientes de funcionamiento del molino de caña.

#### **1.3.4. Definición de hipótesis o supuestos de partida**

El consumo mundial de azúcar ha aumentado desde 1960. La proporción relativa de la producción de azúcar de caña en comparación con otras plantas suculentas continúa aumentando de 2/3 a 3/4 en la actualidad.

### **1.3.5. Procedimientos empleados para análisis de información**

#### **1.3.5.1. Método analítico**

El método analítico permitió realizar un análisis de los procesos actuales realizados en la extracción del jugo de caña, para posteriormente emitir resultados que permitieron optimizar el proceso de extracción de jugo de caña.

#### **1.3.5.2. Método sintético**

Mediante el método sintético se trata de hacer una sistematización breve de las actividades dentro del proceso con el fin de dar una solución que permita optimizar el proceso de extracción en el primer molino.

### **1.4. Conclusiones**

- Al elaborar el marco referencial del capítulo 1, permite el ordenamiento lógico y secuencial de los temas teóricos procedentes de la información obtenida de las fuentes bibliográficas fidedignas, bitácoras de operación, sistemas de control, equipo de automatización que giran alrededor del planteamiento del problema y que sirven de base, fundamentación y análisis para proponer soluciones del proyecto de investigación planteado.
- Al investigar se puede definir y delimitar la fundamentación teórica de conceptos involucrados con las variables de investigación, que forman parte del presente estudio, para la utilización de los parámetros de operación que influyen en la eficiencia de las unidades de generación.

## **1.5. Título del proyecto**

“Diseño de un sistema de control en la tolva de alimentación del primer molino de extracción de jugo de caña para mejorar la calidad de producción (MALCA).

### **1.5.1. Objetivo del proyecto**

- Desarrollar un control PID para reducir el consumo energético en el primer molino del ingenio azucarero, tomando en cuenta datos históricos de operaciones registrados en el año 2021(MALCA).

## **1.6. Justificación de la propuesta**

El control del proceso extracción de jugo de caña, actualmente se ve afectada por la falta de procedimientos y condiciones de operación, por la escasez de un diseño automático lo que ha provocado que disminuya el refinamiento del proceso y por lo tanto afectando la eficiencia del mismo. Por tal razón se ha considerado los parámetros cruciales para determinar la función de transferencia de la planta en un lazo de control cerrado usando un esquema de predictor de Smith.

Para iniciar con el modelamiento se consideró que, las condiciones principales de operación del molino son:

- El nivel de caña a la entrada de la tolva (L)
- Parámetro del variador de frecuencia del transportador de la fibra de caña (T)
- Cantidad de jugo generado (F)
- Velocidad angular del eje que une las transmisiones mecánicas y las mazas del molino (V)

Para el cálculo matemático los investigadores han considerado utilizar el software de MATLAB con el fin de determinar las dos funciones de transferencia separadas, suponiendo que el subproceso completo, que involucra cuatro variables que compone de dos coprocesos separados, el primero se compone con la entrada F y salida T; y el segundo consiste con la entrada V y salida L.

### **1.7. Fundamentación de la propuesta**

El Ingenio Monterrey Azucarero Lojano se encuentra localizado en el Cantón Catamayo se encarga de la producción del 10% de azúcar a nivel nacional, cuya función tradicional de un ingenio azucarero es producir sacarosa a partir de la caña de azúcar mediante mecanismo que hace posible esta situación.

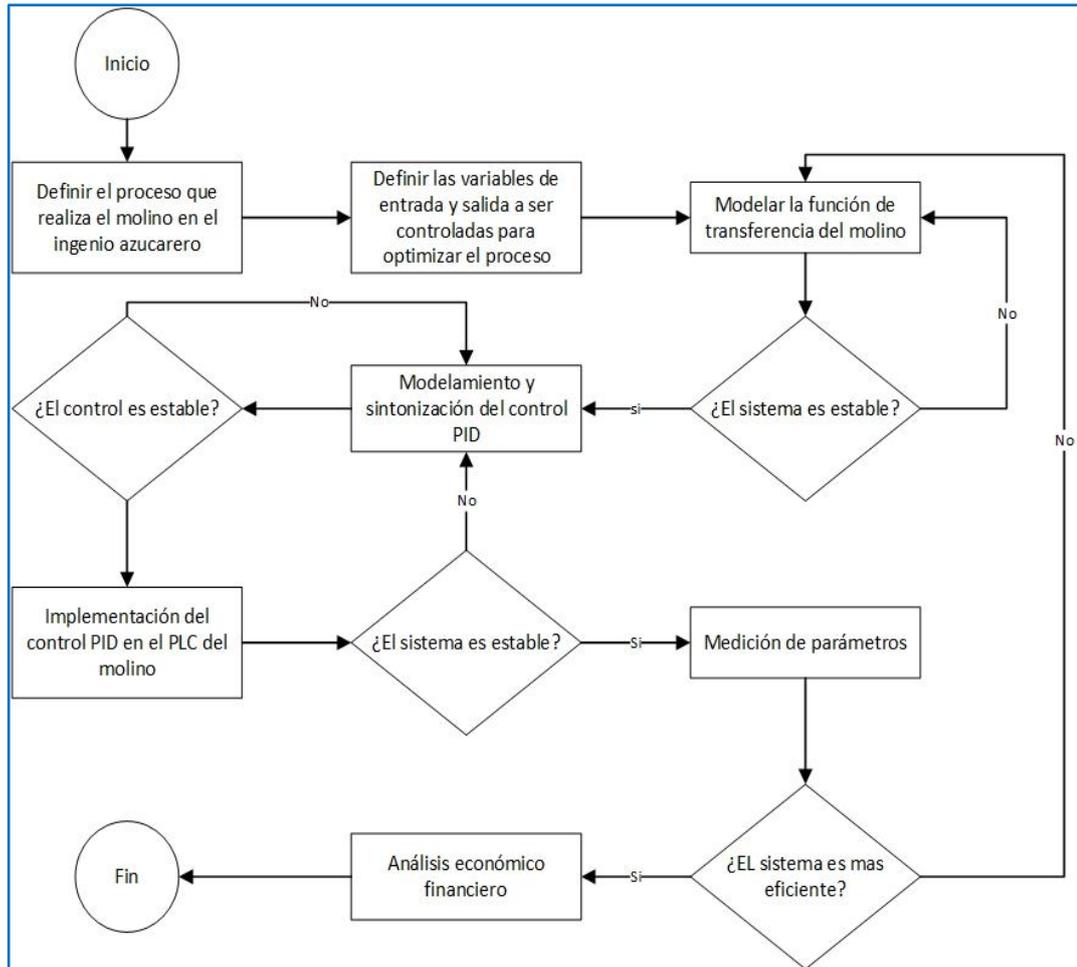
El objetivo principal de la propuesta del sistema de control es resolver la problemática actual que existe en el proceso de extracción de jugo de caña del primer molino y así poder sustentar la propuesta dada.

### **1.8. Metodología o procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados**

Para desarrollar de la metodología del diseño paramétrico para sistema de control de extracción en el primer molino, se ha investigado aplicaciones en donde las ecuaciones teóricas han sido desarrolladas para evaluar las condiciones de eficiencia de los mismos.

La eficiencia del trabajo de los molinos está dada por el estado de preparación de la caña, la presión aplicada, la velocidad de rotación de los molinos, la cantidad de fibra que contiene la caña, la imbibición aplicada, el buen ajuste de los molinos y el estado de desgaste de los mismos. El control del trabajo de los molinos es el brix de los jugos de salida de cada juego de molinos, el brix disminuye sucesivamente al aplicar imbibición compuesta.

A continuación, se presenta en la Figura 16, el procedimiento que se va a utilizar para realizar el trabajo investigativo planteado.



**Figura 16.** Diagrama de flujo de la propuesta

El periodo de tiempo del que se tomaran las mediciones es de los datos de operación del año 2021, para poder analizar la estabilidad del sistema de control implementado, se destinaran 15 días a partir de la programación que se realice en el PLC.

Al desarrollar esta propuesta se consideran varios escenarios:

**Escenario favorable.** - En el escenario favorable, la función de transferencia será bastante aproximada al proceso que desarrolla el molino, lo que implica que los parámetros de sintonización del control PID al cargarse al control del PLC harán que el sistema sea estable y mucho más eficiente.

**Escenario desfavorable.** - En un escenario desfavorable, la función de transferencia distara bastante del comportamiento del sistema y la sintonización encontrada en Matlab ocasionar que la maquina tenga un funcionamiento inestable, lo que implica que se debe regresar a la etapa de modelamiento.

En la presente investigación se presenta el mejor resultado de todas las simulaciones e implementaciones.

### **1.8.1. Modelo para la función objetivo.**

Para el análisis y modelo matemático se utilizó el software de MATLAB sobre el cual vamos a implementar el entorno de programación para el desarrollo de algoritmos, análisis de datos, y cálculo numérico, necesarios para obtener la solución matemática y gráfica, considerando las siguientes variables de entrada, salida más relevantes y perturbaciones:

#### **Entrada**

- Posición de Sensores de Nivel en la tolva (F)
- Parámetro del variador de frecuencia (V)

#### **Salida**

- Cantidad de jugo generado (F)
- Velocidad angular de los rodillos (V)

#### **Perturbaciones:**

- Ruido eléctrico

En las tablas 2, se muestra los valores de operación del molino nro. 1: el brix; abertura de entrada entre la maza cañera y la masa superior; abertura de salida entre la maza superior y la maza bagacera; presión de aceite que se inyecta a la salida del

molino (maza superior); velocidad del motor; relación de transmisión de los reductores tanto de alta y baja.

**Tabla 2.** Valores de operación del molino nro. 1

	Abertura Entrada	Abertura salida	Presión Hidráulica	Velocidad rpm	Reductor alta	Reductor baja	Longitud masas	Diámetro masas
Molino	2"	1"	2500 psi	1785	1-25	1-15	106 m	0.61 m

En la tabla 3; se observa las medidas de construcción de la tolva donde; H es la altura total, A es ancho, X es la altura media, h es la altura máxima de llenado del colchón de caña y Angulo de entrada de la tolva que recibe el bagazo por el conductor ò banda.

**Tabla 3.** Medidas interiores y exteriores de la tolva

	H(m)	A(m)	X (m)	H (m)	Angulo
Tolva ò chute	1.95	0.48	0.83	1.70	45

Las funciones de transferencia G y G' se las usa para crear el modelamiento de control de lazo cerrado usando el esquema de predictor de Smith, para definir las funciones de transferencia y el bloque de control proporcional K, además del filtro X, se tomó la referencia de la investigación [12]; en la que se modela un molino con características muy similares al que se usara en la presente investigación.

#### **2.4.2 Definición de parámetros del control PID**

El sistema del controlador PID para controlar el sistema de extracción de jugo de caña en el primer molino. Se sintonizo mediante tres métodos los cuales son: el primero con el método con respuesta al escalón unitario control agresivo; el

segundo con el método con respuesta al escalón unitario con control robusto y el tercer método se sintonía con el método de Ziegler-Nichols mediante oscilaciones sostenidas, con el único fin de determinar los valores de la ganancia proporcional  $K_p$ , del tiempo integral  $T_i$  y del tiempo derivativo  $T_d$ .

- **Sintonización del control PID**

Para el control del molino, se debe tomar en cuenta un sistema de control con dos entradas y dos salidas, las cuales se definen a continuación.

**Entrada**

- Posición de Sensores de Nivel en la tolva (F)
- Parámetro del variador de frecuencia de transportador de caña (V)

**Salida**

- Cantidad de fibra de caña generada (L)
- Velocidad angular del eje que une las transmisiones mecánicas y las mazas del molino(T).

Gracias a los datos de operación adquiridos por el personal técnico del ingenio azucarero (MALCA), se tienen mediciones que relacionan las entradas y las salidas, los cuales se encuentran en el Anexo 2.

Para procesar los datos de entrada y salida, los cuales son medidas reales, se usa en Matlab para encontrar la función de transferencia usando el código que se ilustra en la Figura 17.

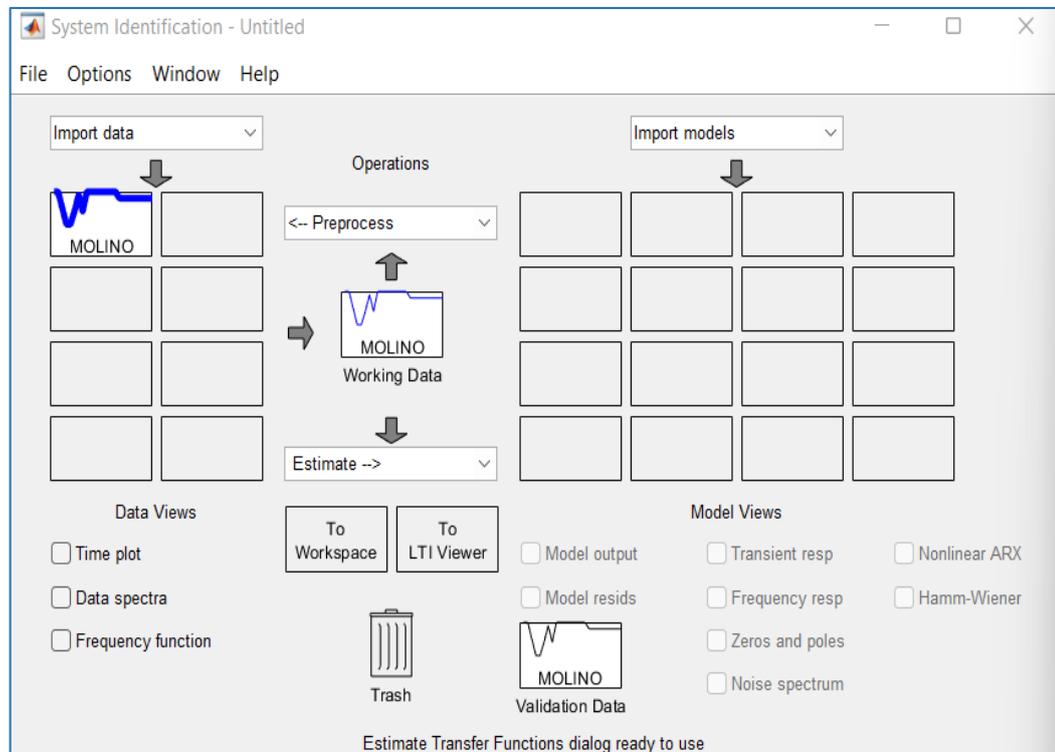
```

1 clear
2 clc
3 PVA=xlsread('FT.xlsx','15 diciembre2021 (4)','B3:B27') %Parametro variador
4 RPM=xlsread('FT.xlsx','15 diciembre2021 (4)','C3:C27') %Revoluciones del motor
5 MC=xlsread('FT.xlsx','15 diciembre2021 (4)','D3:D27') %Maceracion Kg/Hora
6 MA=xlsread('FT.xlsx','15 diciembre2021 (4)','E3:E27') %Agua
7 T=xlsread('FT.xlsx','15 diciembre2021 (4)','F3:F27') %Temperatura
8 SJ=xlsread('FT.xlsx','15 diciembre2021 (4)','G3:G27') %Ton de jugo
9 SC=xlsread('FT.xlsx','15 diciembre2021 (4)','H3:H27') %Ton caña
10 BS=xlsread('FT.xlsx','15 diciembre2021 (4)','I3:I27') %Sacarosa
11 BH=xlsread('FT.xlsx','15 diciembre2021 (4)','J3:J27') %Humedad
12 ST=xlsread('FT.xlsx','15 diciembre2021 (4)','K3:K27') %sensor tolva
13 ENTRADA=[PVA ST]
14 SALIDA=[RPM SJ]
15 ident

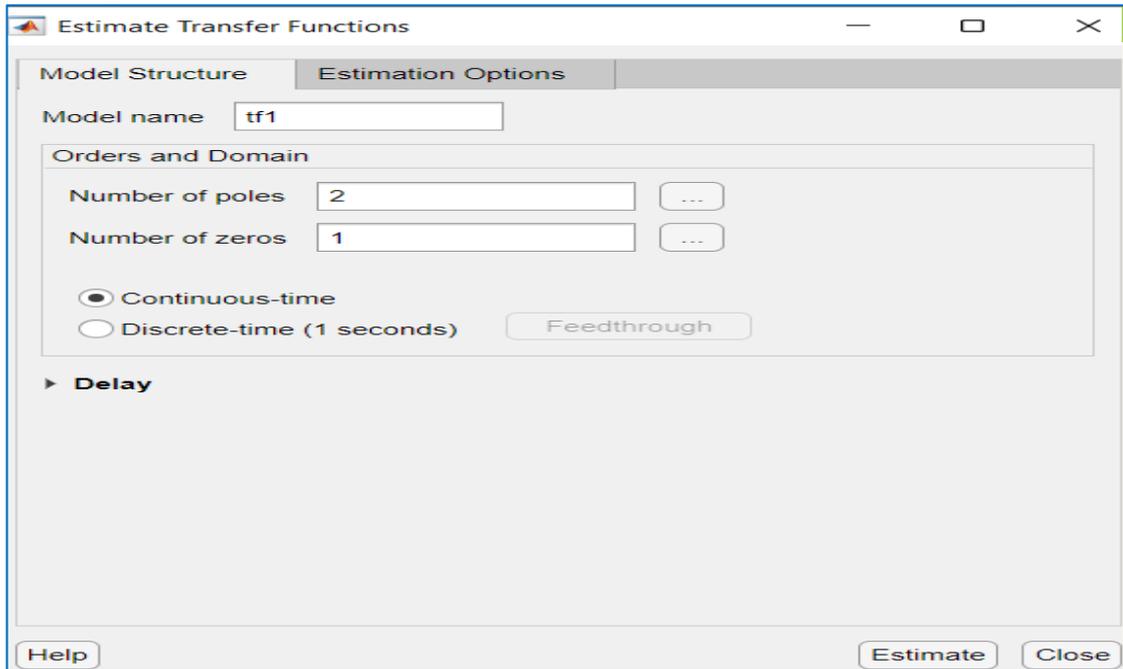
```

**Figura 17.** Código para importar datos de operaciones a Matlab

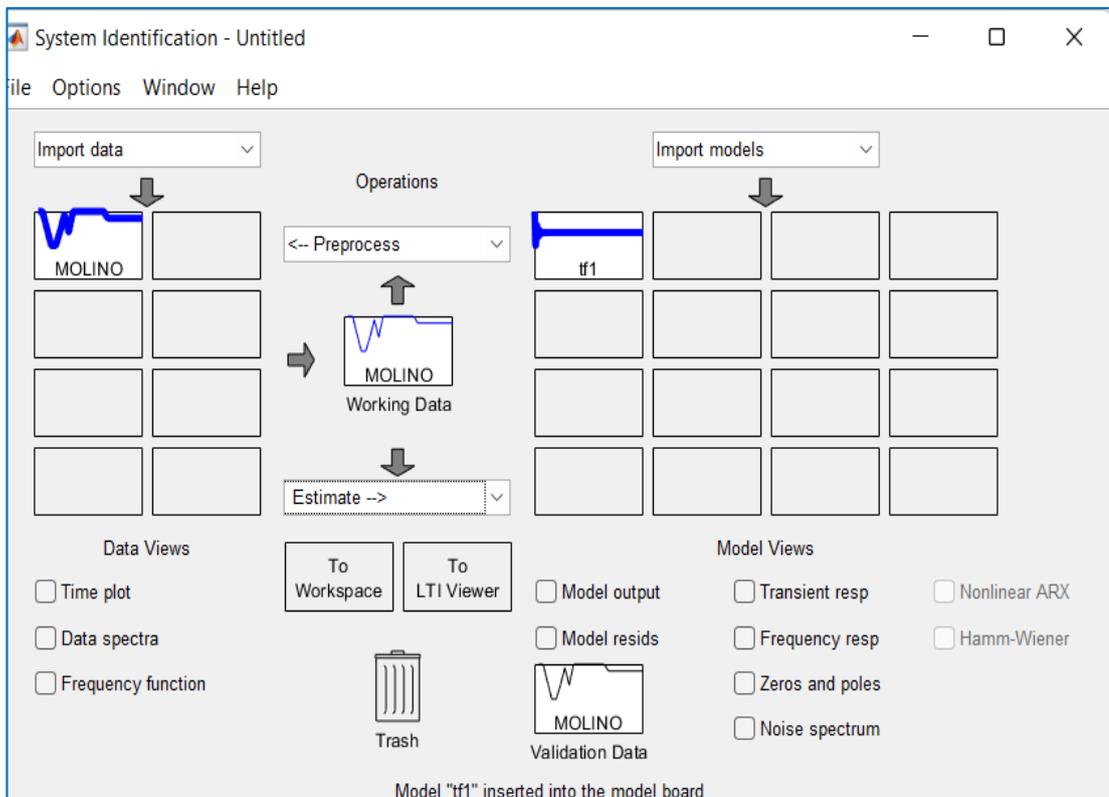
Una vez importados los datos adquiridos del proceso de extracción de jugo de caña del primer molino, se usa el comando `ident` para generar la función de transferencia, en este caso, al ser un sistema de 2 entradas y 2 salidas, se obtienen 4 funciones de transferencia.



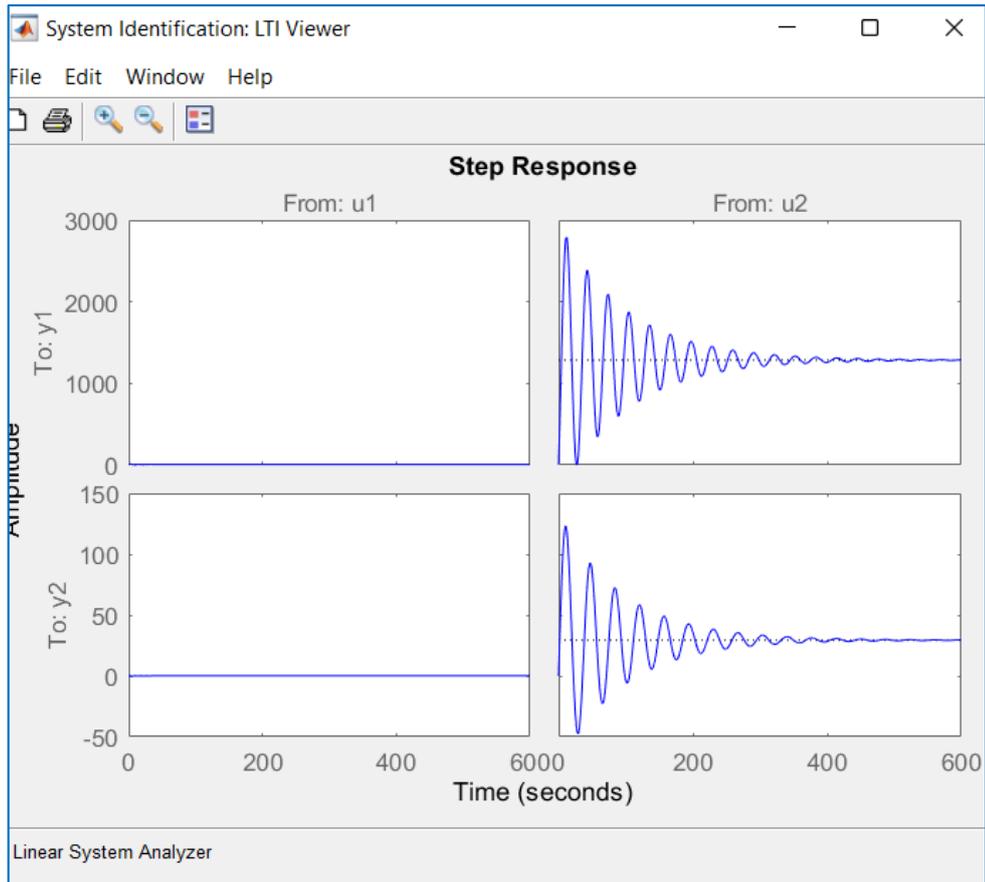
**Figura 18.** Asistente de generación de funciones de transferencia



**Figura 19.** Configuración de parámetros para función de transferencia



**Figura 20.** Función de transferencia estimada



**Figura 21.** Respuesta del modelo estimado a un impulso

A continuación, se observa los resultados y se obtiene las siguientes funciones de transferencia (*tf1*):

Desde U1

$$y1 = \frac{5.701s - 0.4019}{s^2 + 0.1827s + 0.2711}$$

$$y2 = \frac{-0.04279s - 0.002185}{s^2 + 0.3546s + 0.02283}$$

Desde U2

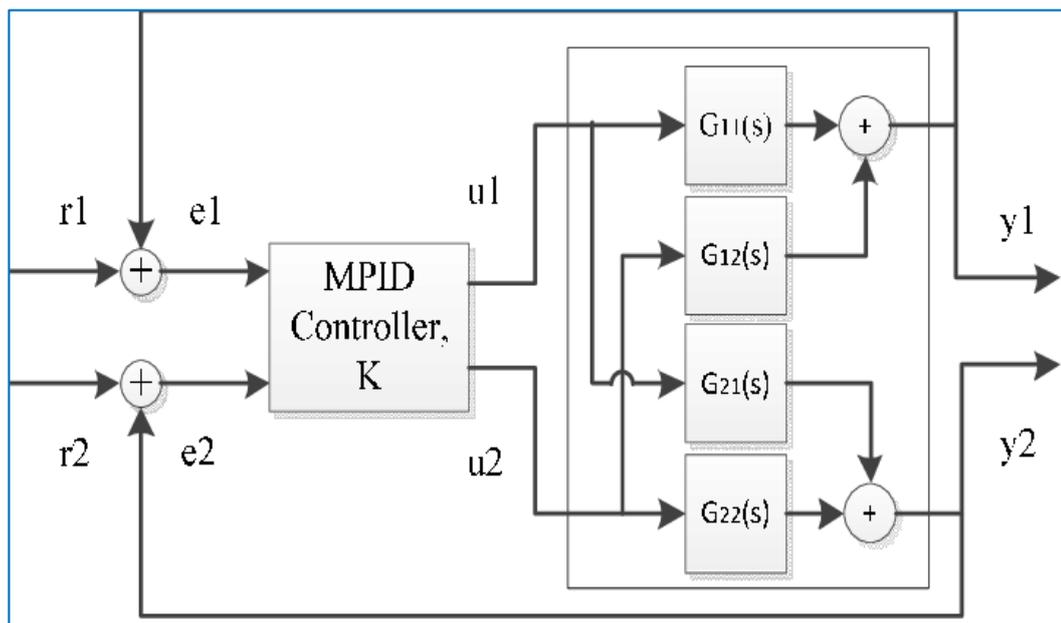
$$y1 = \frac{244.1s - 52.85}{s^2 + 0.02126s + 0.02949}$$

$$y_2 = \frac{17.64s - 0.8672}{s^2 + 0.02126s + 0.02949}$$

Una vez obtenido el sistema, se utiliza un esquema de control de lazo cerrado multivariable como se observa en la Figura 21, además se detalla a continuación las entradas y salidas consideradas en el sistema.

**Tabla 4.** Descripción de entradas y salidas consideradas

Entradas	Descripción
Posición de Sensores de Nivel en la tolva (F)	U1
Parámetro del variador de frecuencia (V)	U2
Salidas	Descripción
Cantidad de Caña dentro de Tolva (L)	Y1
Velocidad angular del eje que une las transmisiones mecánicas y las mazas del molino (T)	Y2



**Figura 22.** Control multivariable de lazo cerrado

En la Figura 22 se representa un control multivariable con dos entradas y dos salidas, las cuales están gobernadas por un bloque de control PID, en el caso del control PID se tienen que tomar en cuenta las cuatro funciones de transferencia que se presentan en el sistema, este esquema se tomara para las funciones de transferencia modeladas en Matlab.

En la Figura 22, se puede observar los siguientes elementos detallados a continuación:

**G(s):** Funciones de transferencia correspondientes a cada etapa del proceso.

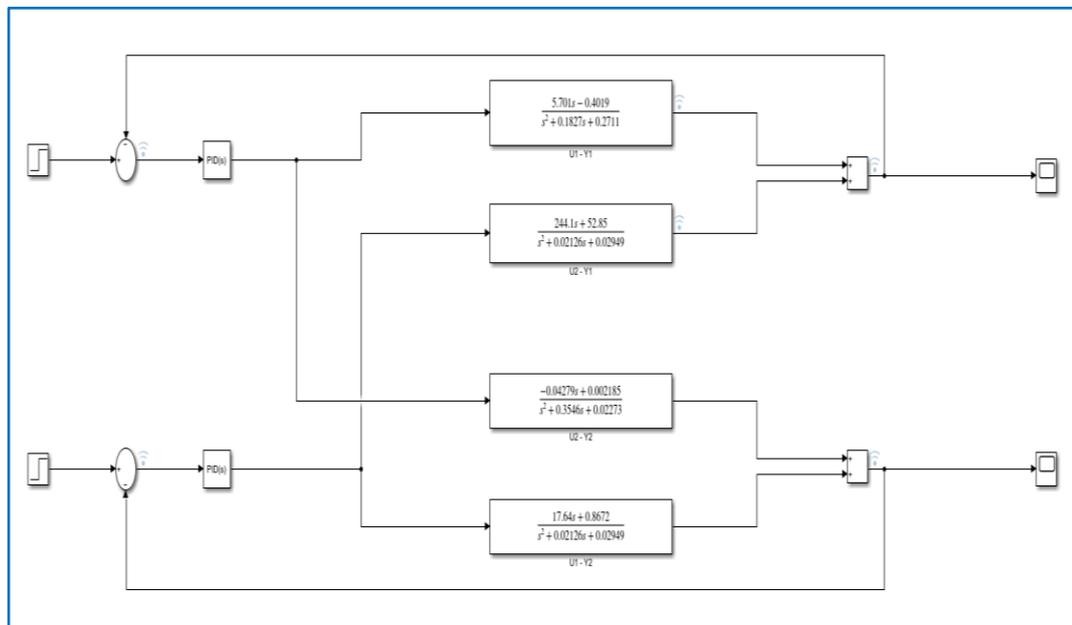
**Y:** salida del proceso.

**U:** Salidas del bloque de control

**R:** Entradas del proceso

**E:** Componentes de retroalimentación

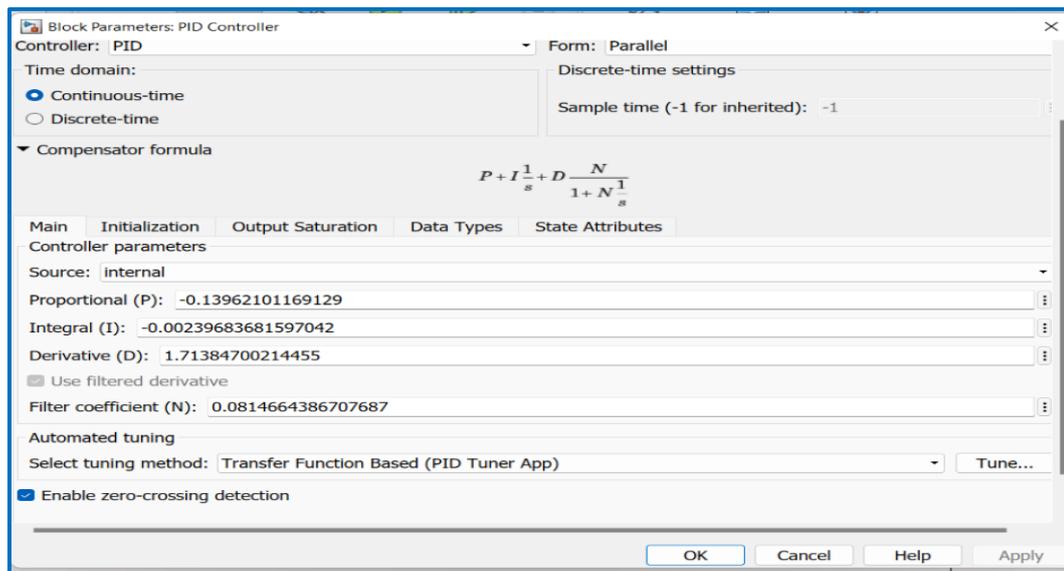
El sistema modelado, usando controlador PID es el que se muestra en la Figura 23, tomando en consideración las entradas y salidas detalladas en la Tabla 4.



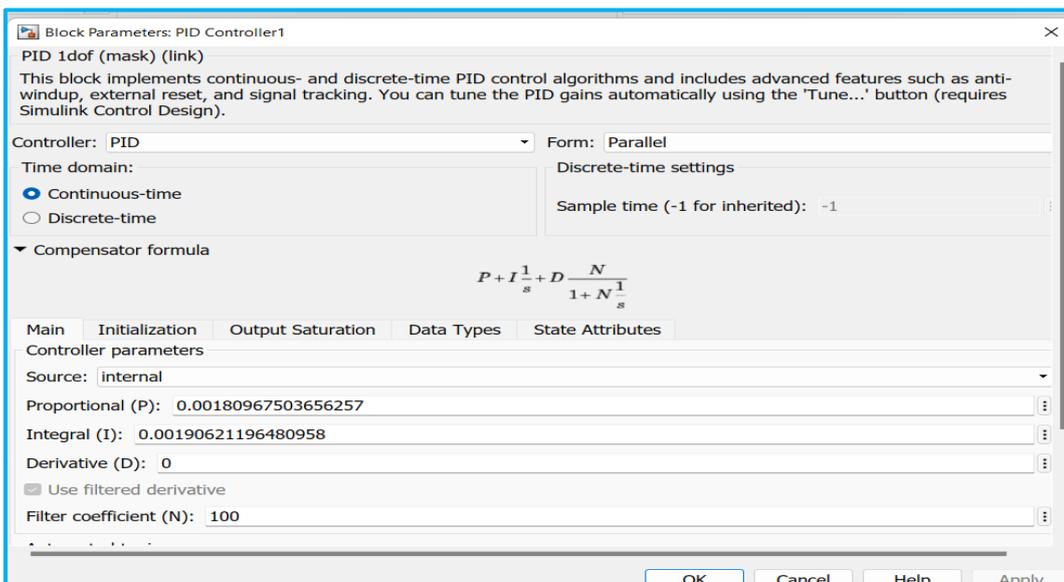
**Figura 23.** Sistema modelado en simulink

A continuación, se evalúa el control con entradas de señal de tipo escalón, como se observa en el modelo presentado de la Figura 23 tiene la misma estructura que el modelo genérico presentado en la Figura 22.

En la Figura 23, se modela el sistema usando 2 controladores PID, uno para cada entrada, y se busca estabilizar el sistema mediante ellos en el menor tiempo posible, para ello se usa la herramienta de sintonización presente en Matlab.



**Figura 24.** Parámetros del control PID para la entrada 1.

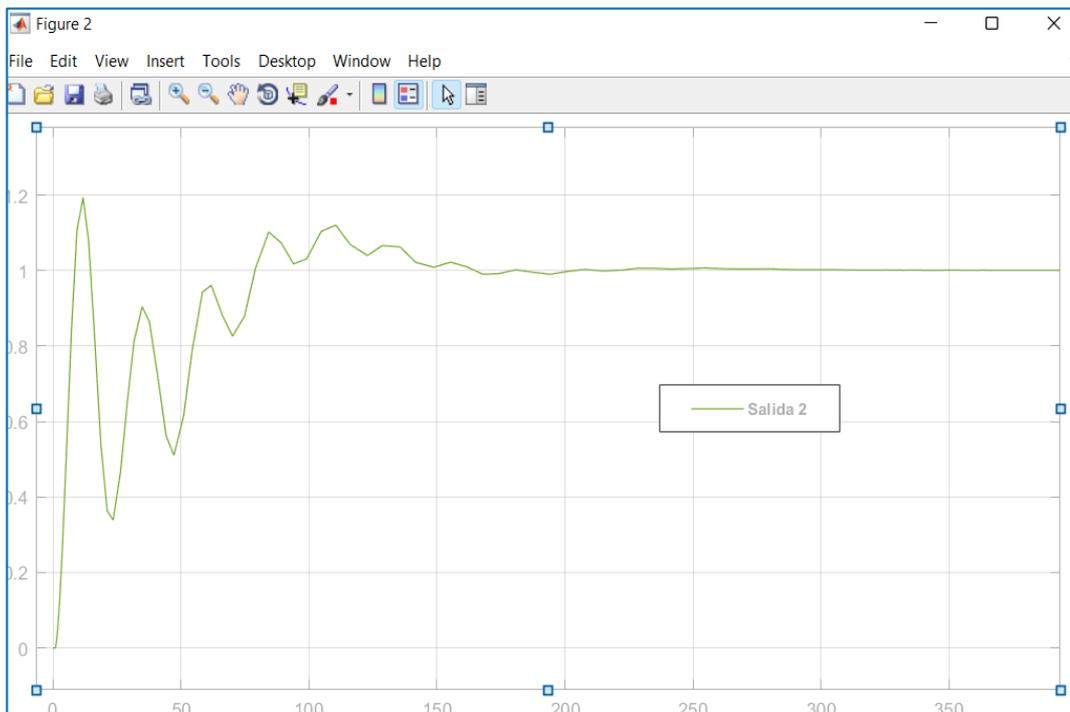


**Figura 25.** Parámetros del control PID para la entrada 2

Una vez determinados los parámetros del controlador de las dos entradas para construcción del lazo cerrado multivariable, se obtuvo las siguientes gráficas con el determinar la estabilidad del sistema:



**Figura 26.** Respuesta de la salida 1



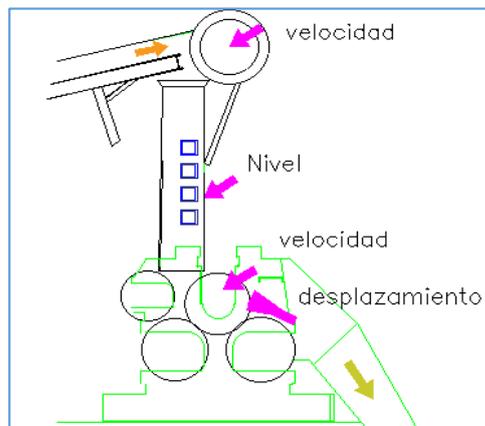
**Figura 27.** Respuesta de la salida 2

En la Figura 26 y figura 27 se observa las respuestas del sistema frente a una función escalón con amplitud de 50 en la entrada 1 y una amplitud de 1 en la entrada 2.

Dando como resultado el punto de estabilización del sistema, y tomando en cuenta que los sensores para monitorear los datos de salida están disponibles en el molino, se debe configurar el PLC con los parámetros calculados en Matlab para que este controle de forma automática los valores de las entradas y de esa manera optimizar el sistema.

### 1.8.2. Selección de equipamiento

La selección de equipamiento de campo surge como respuesta a la variable identificadas dentro del proceso las cuales son supervisadas por el sistema de control, para mejor comprensión realizaremos esta selección según las áreas seleccionadas.



**Figura 28.** Variable identificada dentro del proceso de extracción del primer molino

- **Selección del sensor de nivel de sólido (en el donelly)**

Como se detalló en el capítulo 1 existen dos formas de medir o controlar sólido como son: continua y de punto fijo existen cuatro sensores de punto fijo ubicados en el primer donelly de marca Fertron que permiten saber el nivel de fibra de caña dentro del mismo.

El sensor capacitivo STF 2500C es usado para la detección de diversos materiales sólidos o líquidos, en ambientes agresivos o en aplicaciones donde los sensores conductivos no sean indicados debido a la presencia de humedad, corrosión, etc. (*Anexo I*) se indica las características técnicas del sensor capacitivos utilizados en la medición de nivel.

- **Selección del convertidor de frecuencia**

Para seleccionar un variador de frecuencia se lo realiza tomando en cuenta la corriente nominal y la potencia del motor. En esta aplicación la corriente nominal es de 13.3 Am y la potencia es 7 Hp.

Después de revisar variador de frecuencia de las diferentes casas comerciales que se escogió el variador de frecuencia CFW MXCFW090024T3848SSZ de la marca WEG. Se escogió este equipo por su economía, compatibilidad con equipo de otras, gamas, fiabilidad, su facilidad de programación y calidad.

Cuyo variador, es un dispositivo electrónico que permite variar la velocidad, convirtiendo las magnitudes de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables, es un convertidor de frecuencia preparado para trabajar con motores asíncronos trifásicos de jaula de ardilla. En el anexo D se detalla su aplicación comunicación, características técnicas, etc.

### **1.8.3. Descripción de los diagramas eléctricos de control**

A continuación, se describirá detalladamente los diagramas de flujo, fuerza y control de todos los elementos importantes que intervienen en el proceso del primer molino de extracción de jugo de caña.

### 1.8.3.1. **Diagrama de flujo de la extracción de Jugo de Caña del Primer molino**

- **Tolva**

En el proceso de la tolva, están instalados 4 sensores capacitivos (213-LE), cuya finalidad es medir la cantidad de caña preparada dentro de la tolva en un rango de 0 al 24 mA convirtiéndose en porcentaje 0 a 100 por ciento, que indicaran los niveles bajo, medio, alto y máximo. La información de estos rangos va al convertidor de señal (213-LY) y posteriormente al controlador indicador de nivel (213-LIC).

En este mismo proceso, está instalado un interruptor de nivel muy alto (213-LSHH), que se accionará, sí y solo sí el nivel de caña preparada de la tolva llega a este nivel umbral, si en caso que se llegue a este punto enviara una señal al Controlador Lógico Programable PLC (I) el cual activará una alerta pertinente.

Finalmente, el proceso termina con un enlace de información que va desde el controlador indicador de nivel (213-LIC) hacia el controlador de velocidad (212-SY) que, dependiendo de los niveles medidos estará activado para que continúe el proceso o por el contrario hará que el proceso se detenga.

- **Molinos**

Los datos de la Unidad "F - Extracción - (B1)" ingresan hacia el Controlador Lógico Programable con parámetros que servirán para este proceso, combinados con los datos de la unidad "G - Tratamiento - (A2)" que tiene una entrada en el controlador de velocidad (213-SC), donde una nueva señal saldrá e ingresará en el transmisor indicador de velocidad (213-SIT). la salida de este dispositivo va hacia el acople entre el motor y el reductor alta. Además, en este mismo punto está conectado transmisor indicador de temperatura (213-TT) y consecutivamente se conecta al Indicador de temperatura (213-TI) para la visualización de estos datos.

En el motor del molino 1, se encuentra instalado un sensor capacitivo de temperatura (213-TT), cuya señal ingresa en el PLC, luego de supervisar el rango programado activa o desactiva (213-TI) el motor ventilador. Entre el acople que une al motor con el reductor de alta se encuentra instalado un sensor de temperatura (213-TT) y transmisor indicador de temperatura (213-TI). Entre el acople de reductor de alta con el reductor de baja se encuentra instalado un sensor de temperatura (213-TT) y transmisor indicador de temperatura (213-TI). Entre el acople reductor de baja con la transmisión principal se encuentra instalado un sensor de temperatura (213-TT) y transmisor indicador de temperatura (213-TI). Entre el acople de la transmisión principal y eje de la masa cañera se encuentra instalado un sensor de temperatura (213-TT) y transmisor indicador de temperatura (213-TI).

En la entrada de la caña entre la masa cuarta y la masa cañera se encuentra instalado un sensor de posición (213-ZT) con el fin de medir la distancia de separación que existe entre las dos masas mencionadas anteriormente. Además, se halla instalado un sensor de posición (213-ZT) entre masa superior y la masa bagacera con el propósito de medir la distancia de separación a la salida de las mismas.

En el proceso de reducción de velocidad tanto de alta como de baja se encuentran instaladas una bomba de aceite con el fin de otorgar refrigeración al sistema mecánico, en dichas bombas se hallan instalados un sensor de humedad (213-M), un sensor de temperatura (213-TT) y transmisor indicador de temperatura (213-TI). Existe instalado una sola bomba de aceite tanto para el mecanismo de reducción de baja (A) y transmisión principal (B), la misma que se cuenta un sensor de humedad (213-M), un sensor de temperatura (213-TT) y transmisor indicador de temperatura (213-TI) (*Anexo 3*).

### 1.8.3.2. Diagrama de fuerza y control del variador del molino

En el anexo B, se muestra un esquema tanto del diagrama de fuerza como de control del motor del molino con ayuda de un variador. La alimentación de tensión del

diagrama de fuerza se realiza con 460 V 60 Hz, mientras el circuito de control se encuentra alimentado por una tensión de 220 V 60 Hz y 24 Vcc respectivamente.

Al motor se lo puede controlar por dos paneles o tableros de control. El primer panel de control (B) se encuentra en una caja ò cajón al lado del motor. El otro tablero (A) de control se encuentra ubicado en la parte frontal del variador el mismo que se halla en un cuarto de variadores.

- **Contactores**

El diagrama de mando se muestra en el plano (1/2), cinco contactores que a continuación se detallaron minuciosamente cada uno de ellos:

**KA1M:** Contactor del termostato

**KA3M:** Contactor de la botonera de pulsador de emergencia (S1)

**KA5M:** Contactor de protección o sin error RL1

**KA1M:** Contactor de la manigueta de sentido de giro horario / antiorario (S7)

**KA4M:** Contactor del motor del molino

- **Termostato**

El poseer un sensor de temperatura como es el termostato en los elementos del variador, debido que se encuentra más expuesto a que se eleve su temperatura, es uno de los aspectos más importantes a tomar en cuenta cuando se ha echado andar el proceso en el variador.

Mediante las entradas y salidas que se posee en la regleta X10, el variador se puede enterar si ha existido un aumento de temperatura no deseado y se debe parar el proceso.

- **Luces Indicadoras**

En el panel A y B, se encuentra lámparas indicadoras tanto de falla del variador (H2-H2.1) como de encendido del motor (H1- H1.1). Estas luces se encuentran en el

diagrama de control y se alimentan a una tensión de 120 Vac y se activan cuando se active su respectiva salida.

Las lámparas de falla ( H2- H2.1) están conectada una salida de relè ( RL1 21) SIN ERROR, esta salida se activara cuando haya ocurrido una acción no deseada que dañara al variador, porque se ha considerado que es una acción que puede generar mayor peligro en el variador. Por lo cual, cuando ocurre una falla en el variador, se para el motor y la lámpara permanece activada mientras persista la falla.

Las lámparas de marcha o de encendido (H1- H1.1) están conectas en serie con el contacto NA de la bobina de Arranque y parada del motor KA4M (23-24). Las cuales tienen la función de indicar si el motor se encuentra girando o trabajando. (*Anexo 3*).

## **1.9. CONCLUSIONES**

- Se ha modelado correctamente la función de transferencia del molino mediante el uso de datos históricos de operación para el molino del ingenio azucarero.
- El control PID implementado es estable ya que, al implementarse en el PLC del molino, no se generó funcionamiento errático ni un sistema inestable.

## CAPÍTULO III.

### 2.1. APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Para la presente investigación, se evaluaron varios modelos de función de transferencia y un sinnúmero de parámetros de sintonización para el control PID, pero una vez alcanzada la estabilidad, se procedió a la implementación del control en el PLC de la máquina.

Dado que la infraestructura ya está instalada, no se requiere la adquisición e instalación de equipo adicional, así que a continuación se detallan los equipos presentes en el molino, en donde se aplicara la propuesta mencionada:

La mayoría de dispositivos instalados y funcionales en la planta se manejan mediante tecnología convencional HART (Highway Addressable Remote Transduce), de 4 a 20 mA, por lo que se requiere la compra inmediata de un equipo que lea y controle dichos transmisores y su tecnología.

Para poder determinar los módulos necesarios del equipo controlador a implementar, así como el software de interfaz para interactuar, es primordial identificar la totalidad de las variables tanto de lectura como de control para poder procesar. Como se observa en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Variables de control.

Modulo	Entradas	Descripción
1769- IF16C/A	IN0	Entrada analógica control de nivel de chute 1
1769-IF16C/C	IN1	Entrada analógica control de nivel en el tanque de jugo crudo
1769-0F8C/D	Out 0.0+	Salida Analógica de control de velocidad angular del motor del molino.
1769-0F8C/D	Out 0.1+	Salida Analógica de control de velocidad angular del transportador dosificador de fibra de caña al chute 1

A continuación, se describe en la Tabla 6, los equipos necesarios para el diseño de control de nivel en el primer molino, luego de identificar las variables de control.

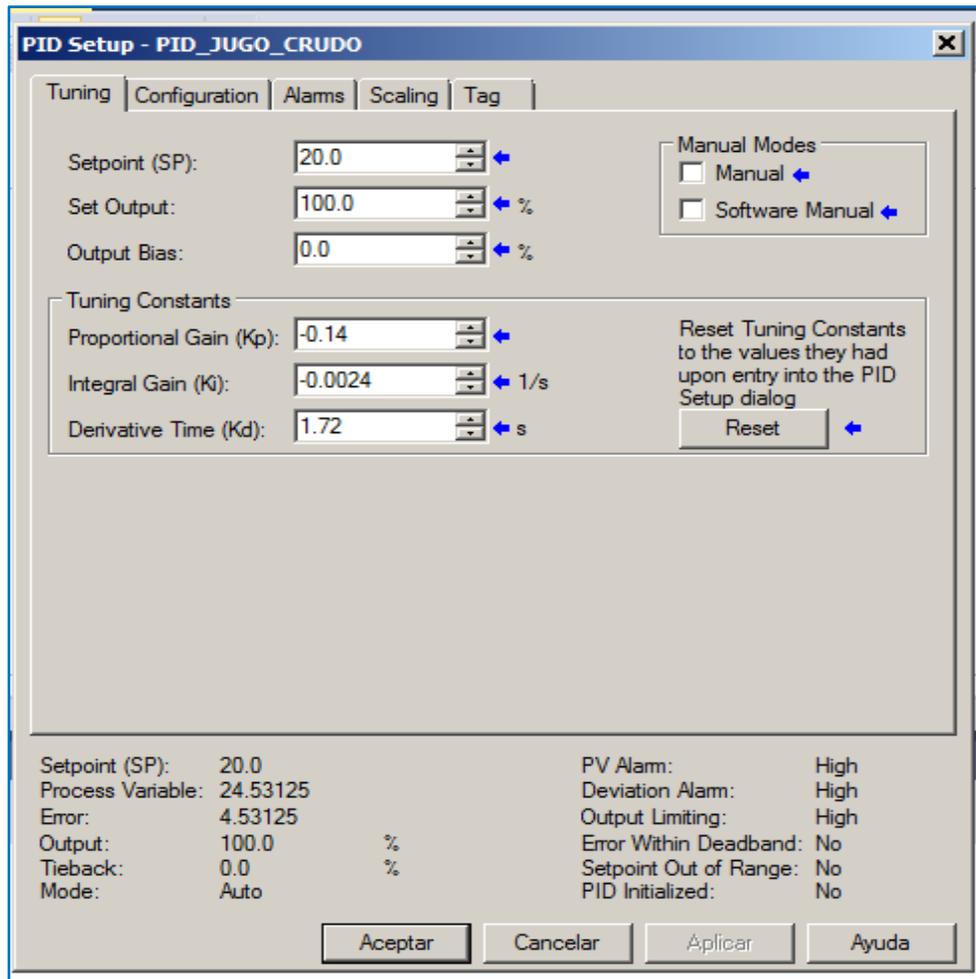
**Tabla 6.** Equipos a implementar en control de nivel de chute

Item	Equipo	Cant.	Código AB
1	PLC AB-1769L36ERM	1	1769-L36ERM
2	Fuente de voltaje A. BRADLEY	1	1769-PB4
3	Módulo de entrada 4 A 20 mA	1	1769-IF16C
4	Módulo de salida de 4 A 20 mA	1	1769-OF8C
5	Software STUDIO 5000 LOGIX DESIGNER	1	9324-RLD300ENE
6	El sensor capacitivo	4	STF 2500C
7	Sumador 4 A 20 mA	1	CD40

Para la programación del PLC se utiliza el Software estudio 500 versión que da una gran factibilidad de uso, además de visualización de estado, existen varios lenguajes de programación que podemos usar dependiendo de nuestra preferencia y conocimiento como son: AWL (lista de instrucciones), KOP (diagrama de contactos), FUP (El diagrama de funciones) y LADDER (diagrama de contactos).

Para realizar el proyecto se realizó con el lenguaje de programación ladder, permitiendo desarrollar de forma fácil y cómoda el programa de control del proceso de extracción de jugo de caña en el primer molino (**Anexo 4**).

Se implementa el control Proporcional-Integral Derivativo (PID) con los parámetros determinados en la Figura 25, del capítulo II, con el fin de estabilizar el sistema en el menor tiempo posible como se observa en la Figura 29.



**Figura 29.** Parámetro del controlador del PID de jugo crudo

Se genera la rutina de control PID\_ JUGO\_ CRUDO de variable de proceso a la entrada ING\_JUGO\_CRUDO, que es la cantidad de jugo crudo extraído, la variable de control a salida (SAL\_JUGO\_CRUDO) es la velocidad angular del transportador dosificador de fibra de caña al chute 1, ( Figura 30).

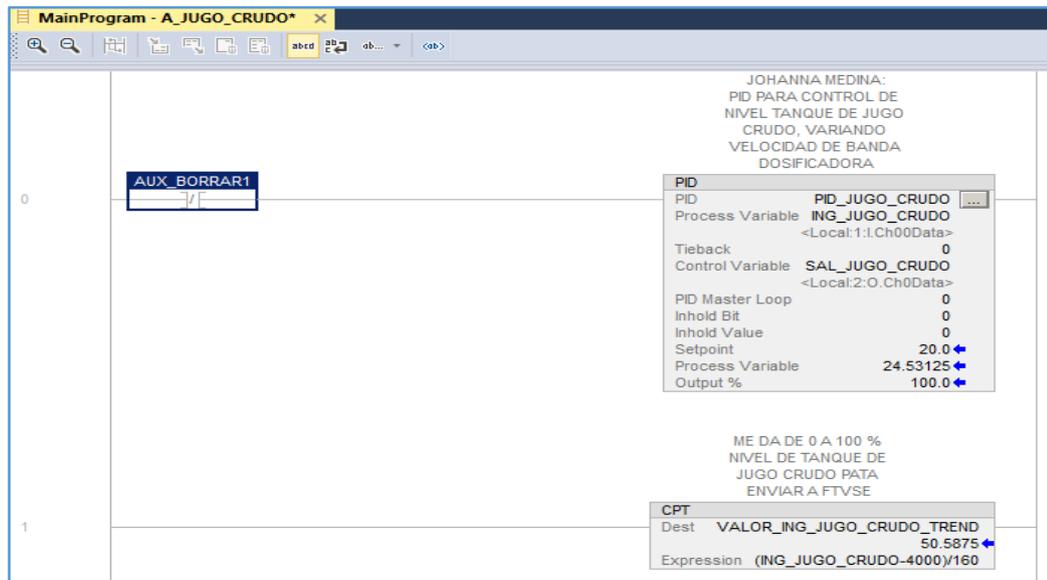


Figura 30. Rutina generada PID\_ JUGO\_CRUDO

Se crea el controlador Proporcional-Integral (PI), Control de velocidad del molino 1, con los parámetros determinados en la Figura 26, del capitulo II, con el fin de estabilizar el sistema en el menor tiempo posible como se observa en la Figura 30.

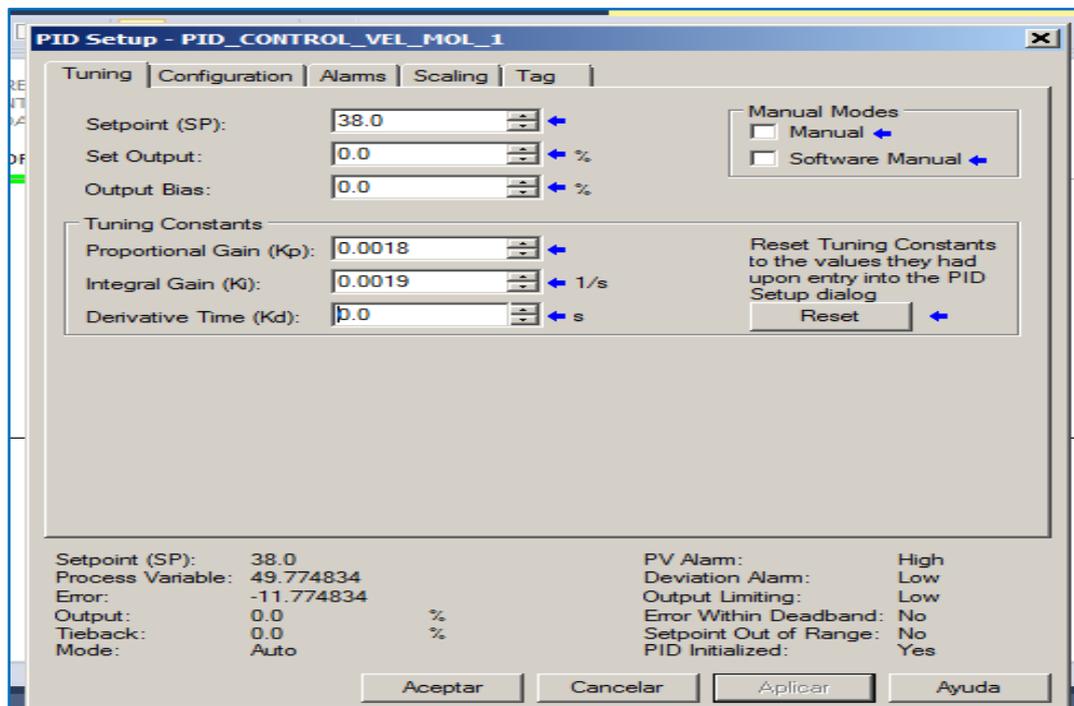
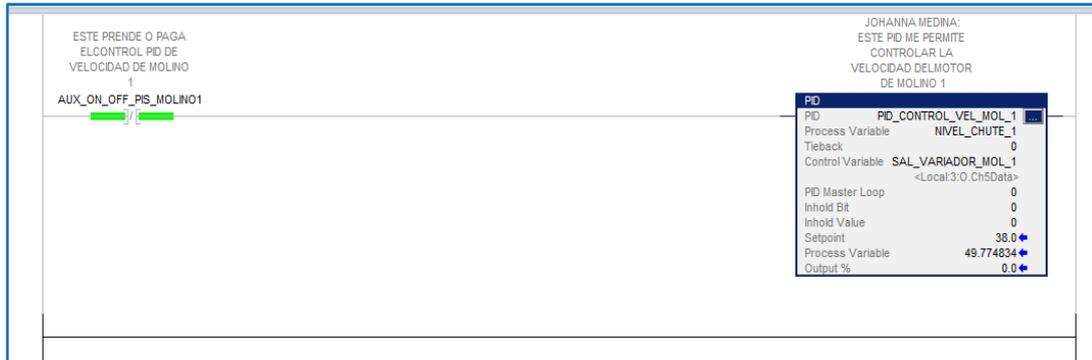


Figura 31. Parámetro del controlador del PID control de Velocidad 1

Se establece la rutina PI\_ Control de Velocidad del motor del molino 1 de variable de proceso ò entrada; (NIVEL\_CHUTE\_1) control de nivel de chute 1, la variable de control ò salida velocidad angular del motor de molino 1(SALIDA\_VARIADOR\_MOL\_1)(Figura 32).



**Figura 32.** Rutina generada PID\_ CONTROL\_VEL\_MOL\_1

## 2.2. Reducción de consumo energético

Luego de dejar en funcionamiento la maquina durante 24 horas, se evidencia una reducción del consumo energético de los motores en un 2.88% del total consumido, quedando los valores comparados de la siguiente forma:

**Tabla 7.** Consumo antes y después del control PID

Hora	RPM Motor SC	RPM Motor PID	Consumo Motor SC [KWH]	Consumo Motor PID [KWH]	Pago SC [USD]	Pago PID [USD]
8:00	640	668	298,1429228	285,6459141	\$2,83	\$2,71
9:00	640	662	298,1429228	288,2348498	\$2,83	\$2,74
10:00	640	664	298,1429228	287,3666726	\$2,83	\$2,73
11:00	640	668	298,1429228	285,6459141	\$2,83	\$2,71
12:00	640	661	298,1429228	288,6709086	\$2,83	\$2,74
13:00	640	666	298,1429228	286,5037096	\$2,83	\$2,72
14:00	640	665	298,1429228	286,9345422	\$2,83	\$2,73
15:00	624	666	305,7876131	286,5037096	\$2,90	\$2,72
16:00	544	664	350,7563798	287,3666726	\$3,33	\$2,73
17:00	544	663	350,7563798	287,8001065	\$3,33	\$2,73
18:00	544	665	350,7563798	286,9345422	\$3,33	\$2,73
19:00	576	668	331,2699142	285,6459141	\$3,15	\$2,71
20:00	640	661	298,1429228	288,6709086	\$2,83	\$2,74

<b>21:00</b>	672	665	283,9456408	286,9345422	\$2,70	\$2,73
<b>22:00</b>	672	666	283,9456408	286,5037096	\$2,70	\$2,72
<b>23:00</b>	672	662	283,9456408	288,2348498	\$2,19	\$2,22
<b>0:00</b>	672	667	283,9456408	286,0741688	\$2,19	\$2,20
<b>1:00</b>	672	668	283,9456408	285,6459141	\$2,19	\$2,20
<b>2:00</b>	640	665	298,1429228	286,9345422	\$2,30	\$2,21
<b>3:00</b>	720	663	265,0159314	287,8001065	\$2,04	\$2,22
<b>4:00</b>	720	667	265,0159314	286,0741688	\$2,04	\$2,20
<b>5:00</b>	720	660	265,0159314	289,1082888	\$2,04	\$2,23
<b>6:00</b>	720	662	265,0159314	288,2348498	\$2,04	\$2,22
<b>7:00</b>	720	665	265,0159314	286,9345422	\$2,04	\$2,21
<b>8:00</b>	720	669	265,0159314	285,2189396	\$2,04	\$2,20
<b>Total</b>			7382,436764	7175,622987	\$65,20	\$63,00
<b>Ahorro</b>			<b>2,88%</b>		<b>\$2,20</b>	

Tomando en cuenta los datos de la Tabla 7, se tiene un 2.88% de ahorro al usar el control PID, esto implica una reducción del consumo energético, lo que implica un ahorro en el pago de la planilla eléctrica.

**Tabla 8.** Ahorros totales generados a la empresa

<b>Ahorro diario</b>	<b>\$2,20</b>
<b>Ahorro mensual</b>	\$65,97
<b>Ahorro anual</b>	\$802,66
<b>Pago mensual Total</b>	\$7.855,89
<b>Porcentaje de ahorro a la planilla</b>	0,84%

Tal como se puede ver en la tabla 8, se genera un ahorro anual de 802,66 dólares al año, lo que representa un 0,84% del valor total que se paga por concepto de energía eléctrica en el ingenio azucarero, tomando en cuenta que es una mejora que no requiere una inversión inicial, no existen costos que amortizar, en el caso de la implementación, esta investigación plasma el trabajo de implementación del control en el PLC por parte del personal técnico de la empresa, y al no recurrir a terceros para dicha implementación, no se han generado costos adicionales.

### **2.3. CONCLUSIONES**

- Mediante la investigación bibliográfica se determinó que existen varios modelos planteados sobre maquinas similares a las que toma como base este proyecto, lo que facilito la creación del modelo de función de transferencia usado para el desarrollo de la presente propuesta.
- La función de transferencia modelada en Matlab es una representación bastante fiel del comportamiento del molino, especialmente porque se cuenta con varios datos históricos del área de operaciones.
- El control PID modelado en Matlab y posteriormente implementado en el PLC del molino del ingenio azucarero resulto en un proceso estable, ya que no se observó durante los 15 días de prueba ningún comportamiento errático o inestable al momento de trabajar de manera cotidiana, lo que demuestra que la función de transferencia es bastante aproximada al comportamiento real de la máquina.
- Según el análisis económico presentado, la implementación del control optimiza el consumo energético del molino en hasta 2.88% del consumo energético total, lo cual es un beneficio económico para la empresa ya que una reducción en el consumo energético implica un ahorro en los costos de energía eléctrica.

### **2.4. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda usar la mayor cantidad de datos para modelar la función de transferencia de este tipo de procesos ya que entre más datos se tenga a disposición, será más fiel el modelamiento
- Los datos reales de ahorro energético después de la implementación del control en el molino se evidenciarán luego de varios meses, por este motivo se recomienda usar los datos de la presente investigación únicamente como una referencia.
- En futuras investigaciones se recomienda explorar opciones de control adicionales como los controles difusos, en la presente investigación se ha

limitado el estudio a los controles PID por compatibilidad del controlador instalado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] L. Moreno, «Registro Oficial Organo del Gobierno del Ecuador,» *Registro Oficial Organico del Ecuador* , p. 3, 2019.
- [2] A. M. Robalino Rubio , «Diseño e Implementación del Sistema de Control Automático para la Alimentación de Caña en el Ingenio Azucarero Valdez,» pp. 5-6, 2016.
- [3] J. F. LARA VIZUETE , “Implementación de un sistema de control de calidad para el proceso de producción de panela granulada en la agroindustria panelera “El Valle”, PUYO, 2019, p. 19.
- [4] E. J. Moya de la Torre y H. D. Álvarez Zapata, Libro blanco del control automático en la industria de la caña de azúcar, España: José Ramón Perán González, Fundación CARTIF, España, 2011, p. 395.
- [5] R. C. J. LUIS, J. L. RODRÍGUEZ COVEÑA y O. A. MARTÍNEZ IDROVO, Propuesta de mejorar de extracion de Sacarosa en caña de azucar que contribuya a la productividad y rentabilidad de ingenio Valdez, MILAGRO, 2018, p. 18.
- [6] O. A. RAMIREZ OROZCO, AUTOMATIZACION E INTEGRACION SUPERVISORIA AREA DE MOLINOS, Santiago de Cali, 2017, p. 48.
- [7] MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE ELABORACION DE JUGO DE CAÑA EN UN INGENIO AZUCARERO, Valle del cauca, 2017, pp. 24-25.
- [8] J. Ramirez, «Modelado y Control de Molinos de Cana de Azucar,» *RIAI*, p. 10, 2015.
- [9] N. R. Girón Contreras, MEJORA DE RENDIMIENTO Y DISPONIBILIDAD DE RED DLR CUYA INFRAESTRUCTURA SE ENCARGA DE LA SUPERVISIÓN DEL SUBPROCESO DE LA EXTRACCIÓN DE JUGO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN EL ÁREA DE MOLINOS TANDEM A Y B EN PANTALEÓN S.A. INGENIO AZUCARERO SIQUINALÁ ESCUINTLA, Guatamala, 2019, pp. 66-70.
- [10] E. E. Rosero y J. M. Ramírez, Evaluación del desempeño dinámico y la eficiencia energética en molinos de caña de azúcar con accionamientos térmicos y eléctricos, Colombia, 2018, pp. 5-7.
- [11] S. K. Sunori y S. Shweta , «Control of Sugarcane Crushing Mill Process: A Comparative Analysis,» *IEEE 3 th International Conference on Soft Computing Techniques and Implementations*, vol. 1, p. 5, 2021.
- [12] S. K. Sunori, «Mathematical Model Determination and Control of Juice Extraction Process of Sugar Mill,» *IEEE 5th International Conference on Computing Communication and Automation (ICCCA Galgotias University, Greater Noida, UP, India. , p. 4, 2020.*
- [13] G. M. Juan Del Valle, Conceptos Básicos: Sistemas de Control, Ecuador, 2017.

- [14] S. Carlos, Control Automático de proceso, LIMUSA S.A, 2005.
- [15] K. Ogata, Ingeniería de control moderna, Mexico: Prentice Hall, 2009, p. 997.
- [16] J. J. R. a. E. R. Alvarez, Proceedings of the Internat. Soc. of Sugar, Colombia: Merida, 2014.
- [17] O. OROZCO, Optimización de Jugo de Caña, MEDELLIN, 2007.
- [18] A. Tama Franco, La revolución del alumbrado público, Quito: ESPOL, 2012.

# **ANEXOS**

## **1**

**Anexo 1. Características técnicas de la instrumentación industrial en el proceso de molienda.**

*Tabla 9. Características de los motores en el proceso de molienda*

PROCESO/ÁREA	MOLIENDA		
NOMBRE	DONELLY.#1	MOLINO 1	BANDA DE CAÑA
MARCA	WEG	WEG	WEG
POTENCIA DE PLACA	15HP	15HP	300HP
POTENCIA KW		11KW	220KW
MODELO/TIPO		W22	
FRAME	V-160M	132M/L	586/7T
SERIAL	HN1003200		
VOLTAJE	440V	440V	440V
AMPERAJE	17.1A	18.6 <sup>a</sup>	338A
REVOLUCIONES X MINUTO	1750 RPM	1760 RPM	1790 RPM
HZ	60HZ	60HZ	60HZ
COS			
EFICIENCIA%		S1	
FACTOR DE SERVICIO	1		1,15
RODAMIENTO ANT		6309 2RS	6322 C3
RODAMIENTO POST		6207 2RS	6319 C3
ARRANCADOR	SIZE 2		
CALENTADOR	W58		
BREAKER	SIEMENS 50A		
FUSIBLE			3NE4334
CALIBRE CONDUCTOR	4X12		4//0

*Tabla 10.- Especificaciones de conexión de control con entradas digitales*

CONECTOR	XC1	Función padrón de fabrica	Especificaciones
1	DI1	Girar/ Parar	Entradas digitales Aisladas Nivel alto <b>mínimo:</b> 18 Vcc <b>Nivel bajo máximo:</b> 3 Vcc
2	DI2	Sentido de giro	
2	DI2	Sin función	
4	DI2	Sin función	

5	DI2	JOG ( Remoto)	<b>Tensión Máxima;</b> 30 Vcc
6	DI2	2 Rampa	
7	COM	Punto común de las entradas digitales	<b>Corriente de entrada:</b> 11 m A 24 Vcc
8	COM	Punto común de las entradas digitales	
9	24 Vcc	Alimentación para las entradas digitales	24 Vcc 8% Aislada Capac 90 ma
10	DGND	Referencia 0 V de la fuente	Aterrada via resistencia de 249 $\Omega$
11	$\pm$ REF	Referencias positivas p/potenciòmetro	$\pm$ 5.4 V $\pm$ 5% capacidad: 2 mA
12	AI1+	Entrada analógicas: 1Referencia de velocidad (remoto)	Valido para AI1 y AI2 diferencial, resolución 10 bits, (0 a 10) vcc o (0 a 20 mA)
13	AI1-		
14	-REF	Referencia negativa p/ potenciòmetro	-4.7 Va $\pm$ 5%Capacidad; 2 Ma
15	AI1+	Entrada Analogica 2; Sin función	Válido para AI1 y AI2 diferencial, resolución 10 bits, (0 a 10) vcc o (0 a20) mA
16	AI2-		
17	A01	Salida Analogica 1 : Velocidad	(0 a+10 )vcc, R1 $\geq$ 10 $\Omega$ ( carga máxima ) resolución 11 bits
18	GND	Referencia 0 V para la salida analógica	Aterrada via resistencia de 5.1 $\Omega$
19	A02	Salida Analogica 2: corriente del motor	(0 a +10) vcc, RL $\geq$ 10 $\Omega$ (carga máxima) resolución 11 bits.

20	GND	Referencia 0V para la salida analógica	Aterrada viresistencia de 5.1Ω
Conector XC1A		Función padrón de fabrica	Especificaciones
21	RL1 NF	Salida Relé – Sin Error	Capacidad de los contactos: 1 A 240 Vca.
22	RL1 NA		
23	RL2 NA	Salida Relé -N>Nx- Velocidad >P2888	
24	RL1 C	Salida Relé – Sin Error	
25	RL2 C	Salida Relé -N>Nx- Velocidad >P2888	
26	RL2 NF		
27	RL3 NA	Salida Relé -N>Nx- Velocidad >P2888	
28	RL3 C		

*Tabla 11 Parámetros de programación del variador de frecuencia del motor del molino*

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	RANGO SELECCIONADO
P 0100	Tiempo de aceleración	15s
P0133	Velocidad mínima	90 rpm
P0134	Velocidad máxima	1600 rpm
P0156	Corriente sobre carga 100 %	341.0 A
P0157	Corriente sobre carga 50 %	332.0 A
P0202	Tipo de Control	0= control vectorial) V/F 60 Hz
P0201	Selección del Idioma	2 = Español
P0206	Tiempo de Auto Reset	5 s

<b>P0220</b>	Selección local remoto	2= HIM
<b>P0221</b>	Selección referencia de velocidad situación Local	6
<b>P0222</b>	Selección de referencias de velocidad situación remota	6
<b>P0223</b>	Sección giro local	0 = Horario
<b>P0224</b>	Giro/Para local	1= D I1
<b>P0225</b>	Sección Fuente de JOG situación Local	0= Inactivo
<b>P0226</b>	Sección giro Remoto	0 = Horario
<b>P0265</b>	Función de entrada digital	0 = DI3
<b>P0267</b>	Función entrada digital	DI5 0= SIN FUNCIÓN
<b>P0268</b>	Función entrada digital	DI6 0= SIN FUNCIÓN
<b>P0279</b>	Función salida a relé	RL2 = 2 N
<b>P0280</b>	Función salida a relé	RL3 0= sin función
<b>P0288</b>	Función de salidas digitales y a relé	0-1800 rpm
<b>P0295</b>	Corriente nominal del convertidor	477/370 A
<b>P0296</b>	Tensión de entrada nominal	3= (400/460 V)
<b>P0310</b>	Comunicación profibus Dp	1= Activo
<b>P0400</b>	Tensión nominal del motor	460 vol
<b>P0401</b>	Corriente nominal del motor	335 A
<b>P0402</b>	Velocidad nominal del motor	1790 rpm
<b>P0403</b>	Frecuencia nominal del motor	60 Hz

<b>P0404</b>	Potencia nominal del motor	300 Hp
<b>P0406</b>	Tipo de Ventilación	Autoventilado= 0
<b>P0398</b>	Factor de Servicio	1

**Tabla 12.** *Parámetros de programación del variador de frecuencia del motor de la banda*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RANGO SELECCIONADO</b>
<b>P 0100</b>	Tiempo de aceleración	15s
<b>P0133</b>	Velocidad mínima	5 rpm
<b>P0134</b>	Velocidad máxima	70 rpm
<b>P0156</b>	Corriente sobre carga 100 %	39,6 A
<b>P0157</b>	Corriente sobre carga 50 %	83,4 A
<b>P0202</b>	Tipo de Control	0= control vectorial) V/F 60 Hz
<b>P0201</b>	Selección del Idioma	2 = Español
<b>P0206</b>	Tiempo de Auto Reset	3 s
<b>P0220</b>	Selección local remoto	2= HIM
<b>P0221</b>	Selección referencia de velocidad situación Local	1
<b>P0222</b>	Selección de referencias de velocidad situación remota	1
<b>P0223</b>	Selección giro local	0 = Horario
<b>P0224</b>	Giro/Para local	1= D II
<b>P0225</b>	Selección Fuente de JOG situación Local	0= Inactivo

<b>P0226</b>	Sección giro Remoto	0 = Horario
<b>P0265</b>	Función de entrada digital	0 = DI3
<b>P0267</b>	Función entrada digital	DI5 0= SIN FUNCIÓN
<b>P0268</b>	Función entrada digital	DI6 0= SIN FUNCIÓN
<b>P0279</b>	Función salida a relé	RL2 = 2 N
<b>P0280</b>	Función salida a relé	RL3 0= sin función
P0288	Función de salidas digitales y a relé	0-120 rpm
<b>P0295</b>	Corriente nominal del convertidor	21 A
<b>P0296</b>	Tensión de entrada nominal	3= (400/460 V)
<b>P0310</b>	Comunicación profibus Dp	3= Activo
<b>P0400</b>	Tensión nominal del motor	440 vol
<b>P0401</b>	Corriente nominal del motor	36,5 A
<b>P0402</b>	Velocidad nominal del motor	1765 rpm
<b>P0403</b>	Frecuencia nominal del motor	60 Hz
<b>P0404</b>	Potencia nominal del motor	15 Hp
<b>P0406</b>	Tipo de Ventilación	Autoventilado= 0
<b>P0398</b>	Factor de Servicio	1

**Tabla 13.** Características técnicas del convertidor CD-420

 <p>El convertidor CD420 se destina a aplicaciones en la medición de nivel de sólido y líquido donde no sea posible la medición continua por cuestiones de proceso; opera junto con sensores capacitivos de proximidad mod. STF 2500 B, o cualquier similar, incluido electromecánicos, que suministran salidas en colector abierto o contacto seco. La salida del convertidor es ajustable de 0 a 100 % de span, y acepta hasta 6 sensores.</p>	<p><b>Especificaciones técnicas</b></p> <p>Alimentación 110/220VAC 60 HZ</p> <p>Entrada 1 a 6 entradas digitales (opto-aisladas)</p> <p>Salidas 1 salidas de señal analógica 4-20 m A,</p> <p>1 salida de 12 Vdc/450mA (para alimentación de hasta 6 sensores de 70 mA)</p> <p>Consumo 9,6 VA</p> <p>Peso:705 gr</p> <p>Dimensión: 75*100*123mm(AxIxP)</p> <p>Temperatura de funcionamiento:0-50 °C</p>
---	---

**Tabla 14.** Características técnicas del sensor capacitivo STF 2500 C

 <p>STF- 2500C es un dispositivo electrónico de precisión destinado a detectar diversos tipos de materiales solidos o líquidos en entornos agresivos o en aplicaciones en las que los sensores de conductores no se muestran debido a la presencia de humedad, corrosión, etc.</p>	<p><b>Especificaciones técnicas</b></p>
	<p>STF-2500C junto con el convertidor para CD420 monitoreado y control de nivel;                  Aliemntaciòn:12-30 Vdc (24 VCC nominal);                  Pantalla: LED disparada                  Sensibilidad: 0-50 mm (ajustable);                  Salidas: modo de alta y baja( modo de máximo 100 m A de corriente);                  Temperatura de Funcionamiento 0-50 °C                  Consumo: 0.7 VA                  Peso: 0,3 Kg;</p>

# **ANEXOS**

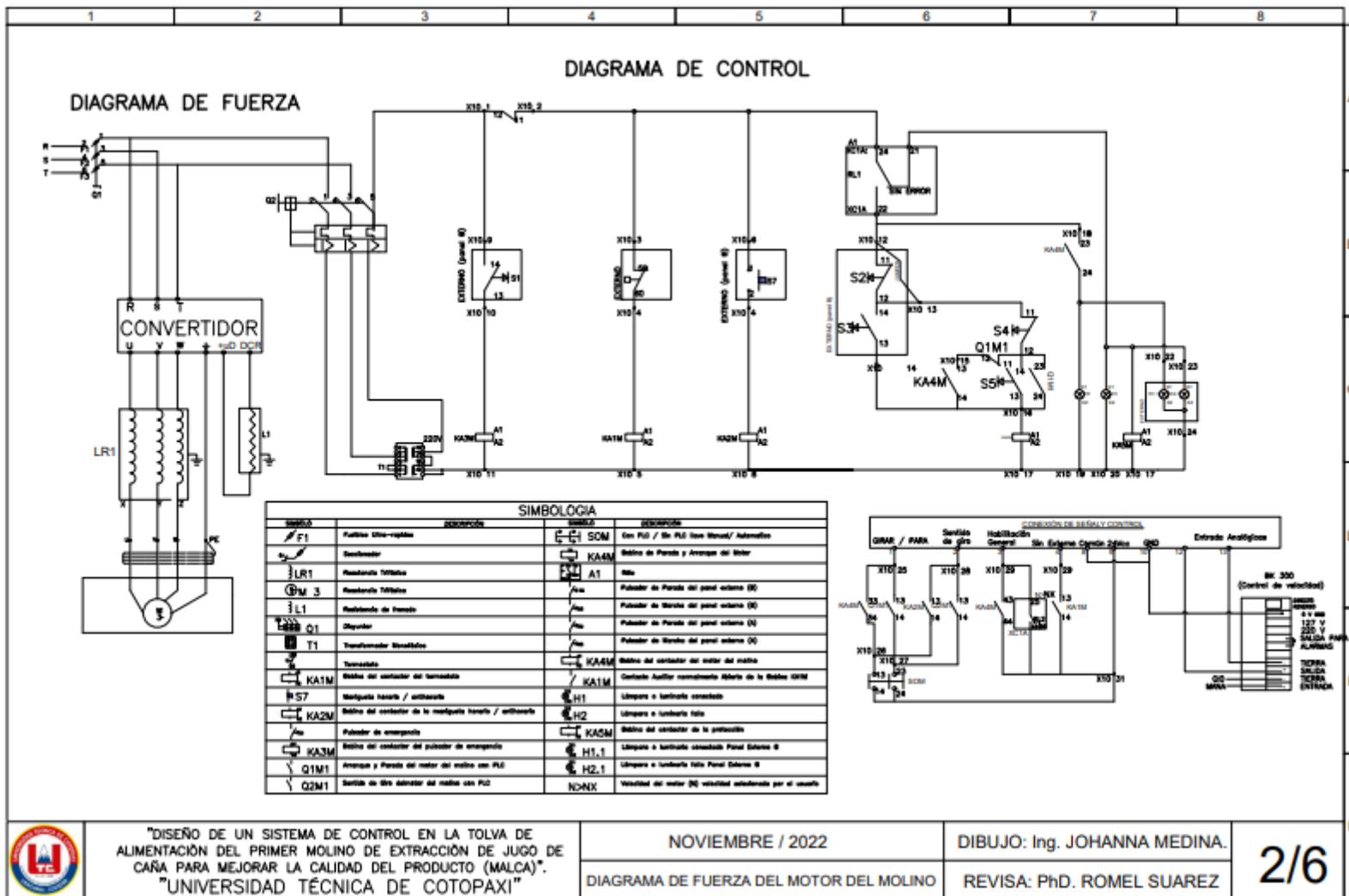
## **2**

## Anexo 2. Bitácora del proceso de molienda.

**Tabla 14 Datos de molienda por día.**

Molino 1			Maceración			Molienda		Bagazo %		sensor
velocidad de molino	%	rpm trabajando	kg/hora	% Agua	Temperatura	ton jugo	ton caña	sacarosa	humedad	
8:00	40	640	13100	21973	64	42	37,14	1,65		0,75
9:00	40	640	13100	23812	64	38,88	38,94		42,16	0,75
10:00	40	640	13300	233,99	64	39,51	38,92	1,72	49,6	0,75
11:00	40	640	13200	21083	74	40,11	38,62			0,75
12:00	40	640	13400	22028	74	43	40,55	1,79		0,75
13:00	40	640	13400	223,08	74	43,41	38,26		45,32	0,75
14:00	40	640	23300	215,63	74	34,69	40,08	1,74	43,35	0,5
15:00	39	624	13700	218,66	74	34,69	39,66			0,5
16:00	34	544	13200	277,87	74	40,96	44,28	1,73	45,11	0,75
17:00	34	544	11800	224,16	68	42,28	34,8			0,75
18:00	34	544	11800	203,91	66	37,34	40,83	2,69	43,54	0,75
19:00	36	576	11900	210	71	34,18	36,82			0,5
20:00	40	640	11900	220,51	64	37,79	40,91	1,64	44,68	0,5
21:00	42	672	11800	214,98	62	39,6	39,25		47,84	0,75
22:00	42	672	11900	243,12	63	27,92	41,74	2,27		0,25
23:00	42	672	11800	186,21	64	40,27	36			0,75
0:00	42	672	12000	216,02	60	44,07	40,08	1,97	44,64	0,75
1:00	42	672	12000	115,3	77	43,17	41,7			0,75
2:00	40	640	12100	227,69	70	38,41	34,36	2,2	46,88	0,5
3:00	45	720	12300	198,03	79	27	42,54			0,25
4:00	45	720	12500	183,7	78	47,69	39,26	2,18	49,56	0,75
5:00	45	720	12000	168,87	78	44,08	39,26			0,75
6:00	45	720	12500	170,74	65	44,99	37,64	1,72	44,18	0,75
7:00	45	720	12500	170,74	65	44,08	40,73			0,75
8:00	45	720	12500	194,83	65	38,5	40,73	2,07	46,49	0,5
	<b>U2</b>	<b>Y2</b>					<b>Y1</b>			<b>U1</b>





"DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL EN LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN DEL PRIMER MOLINO DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL PRODUCTO (MALCA)".  
"UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI"

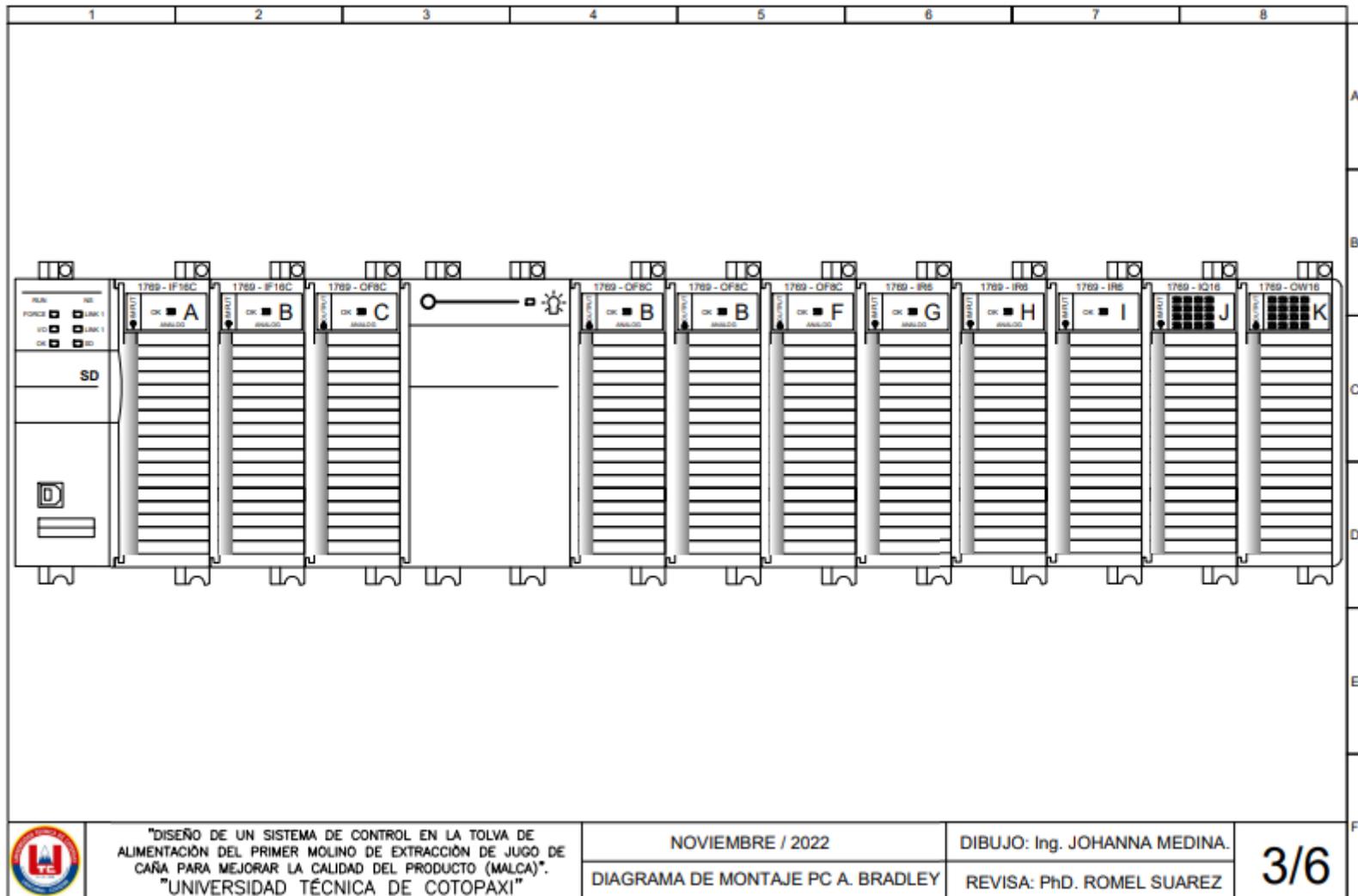
NOVIEMBRE / 2022

DIBUJO: Ing. JOHANNA MEDINA.

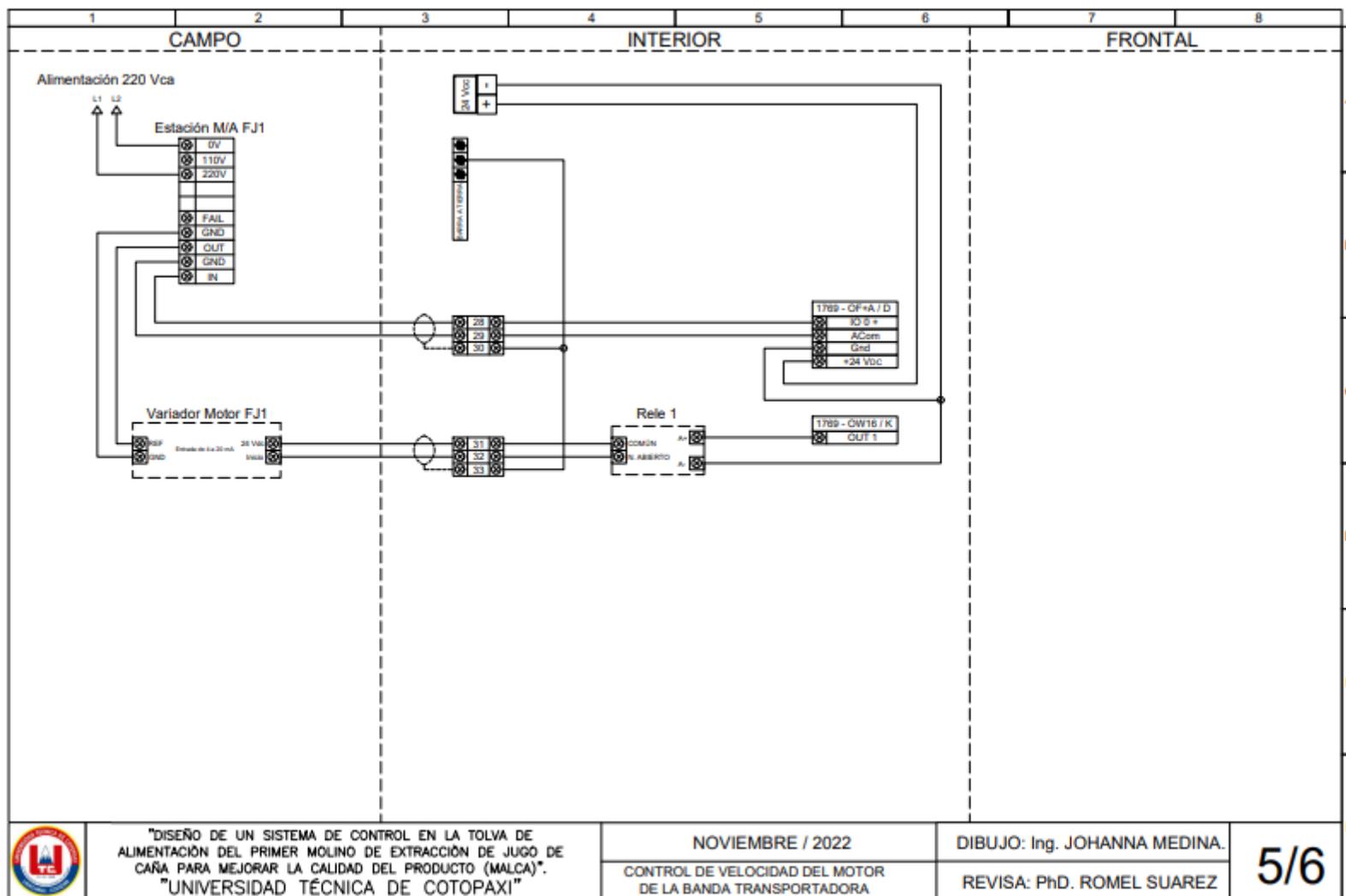
DIAGRAMA DE FUERZA DEL MOTOR DEL MOLINO

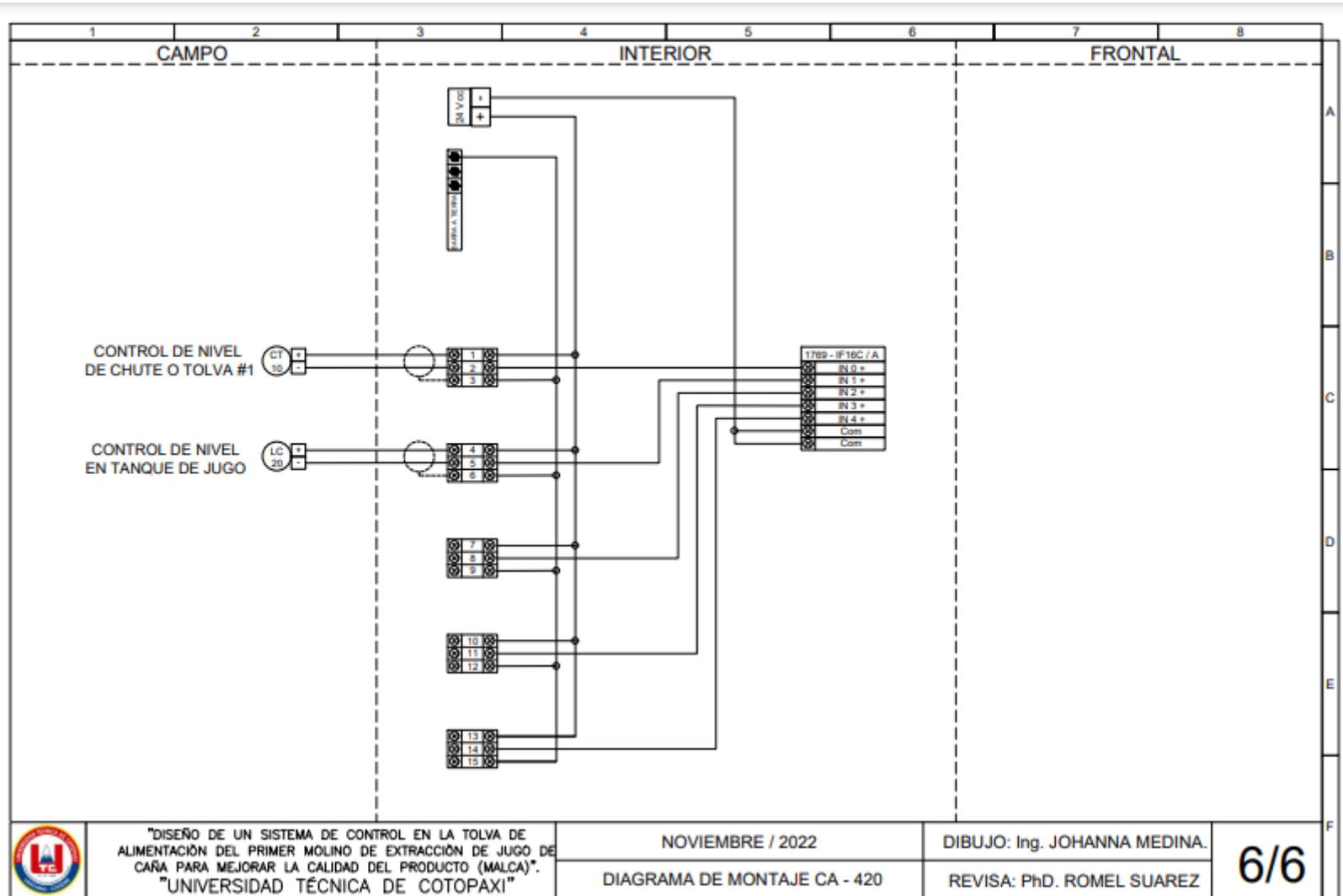
REVISA: Phd. ROMEL SUAREZ

2/6



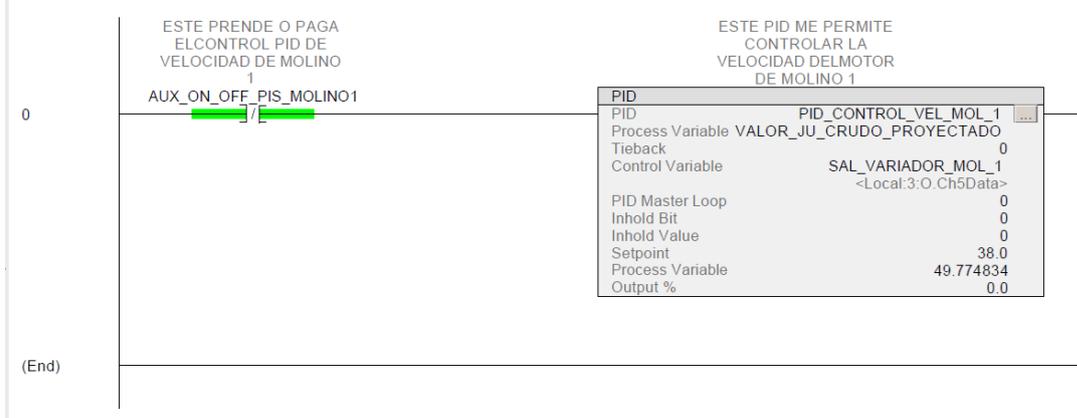


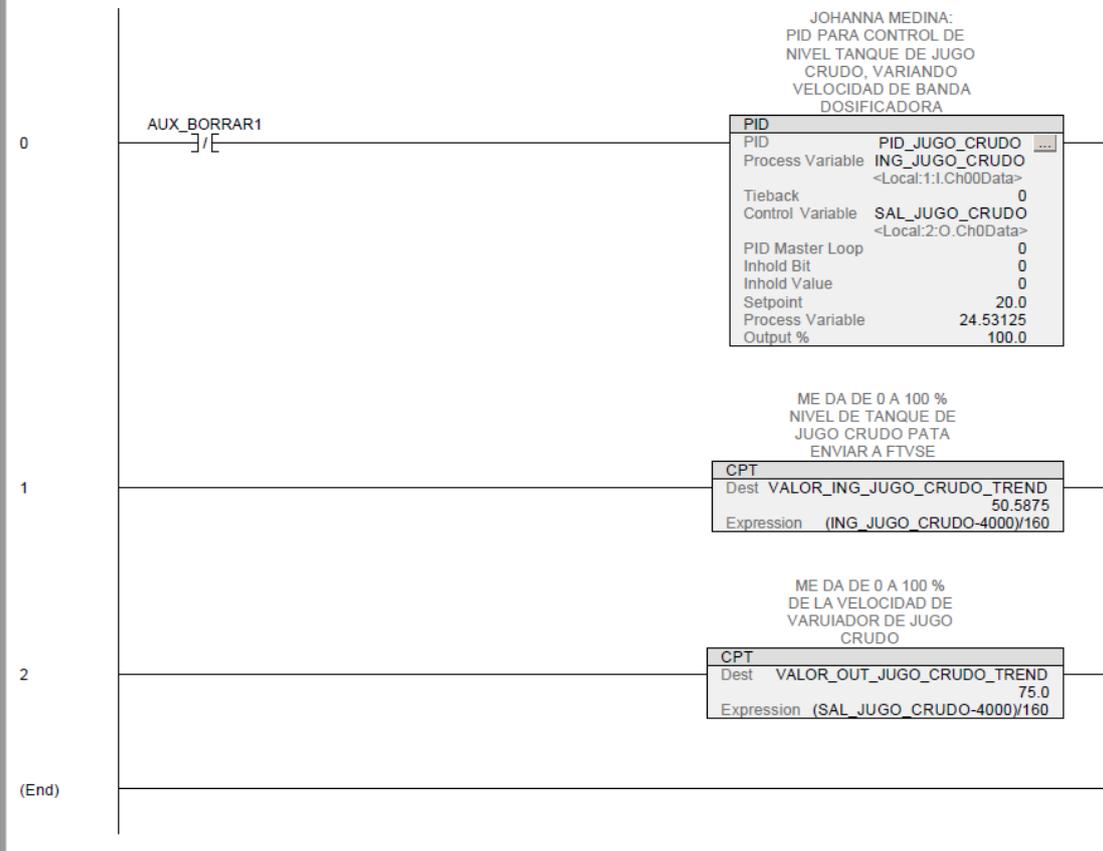




# **ANEXOS**

**4**





```
1 (* INICIO LAS VARIABLES DE MI SISTEMA *)
2
3 IF AUX_TAG_INICIO=0 THEN
4
5     AUX_X:=AUX_HORA+1;
6     AUX_X_MINUTO:=AUX_MINUTO+1;
7     AUX_PARO_JUGO_CLARIFICADO:=0;
8     PID_CONTROL_PRE_EVAP.SP:=33;
9
10    SP_PID_JUGO_CRUDO:=20; (* INICIA CONTROL EN EL 20 % DEL TANQUE DE JUGO CRUDO *)
11    SP_FLUJO_JU_EN:= 44; (* INICIA CONTROL DE FLUJO CON 44 T/H LITROS HORA *)
12    AUX_SP_PH_JU_EN:= 7.3; (* INICIA EN 7 DE PH...ESCALAMIENTO VA DE 0 A 14 *)
13    AUX_SP_FLUJO_AGUA_IMBIBICION:= 8000; (* INICIA EN 8000 LITROS HORA ESCALAMIENTO VA DE 0 A 15000 LITROS *)
14    AUX_SP_VAL_10_PSI_TACHOS:=10; (* INICIA CONTROL EN EL 10 PSI ALIVIO DE TACHOS*)
15    AUX_SP_VAL_25_PSI_PRE_EVAP:=22; (* INICIA CONTROL EN EL 50% PARA VALVULA DE ALIVIO DE PREEVAPORADOR*)
16    AUX_SP_VAL_COMPENSACION:=AUX_SP_VAL_25_PSI_PRE_EVAP-2; (* INICIA CONTROL PARA VALVULA DE COMPENSACION*)
17    AUX_SP_VAL_RED_100_PSI:=100; (* INICIA CONTROL EN 100 PSI PARA VALVULA REDUCTORA DE 200 A 100*)
18    SAL_FLUJO_AGUA_IMBIBICION:=50; (* INICIA CONTROL EN EL 50% DE LA VAL DE 25 PSI ALIVIO DE PRE EVAPORADES A
19 Y B*)
20    AUX_SP_PID_ATEMPERADOR_25_PSI:=130; (* INICIA CONTROL EN 130 oC PARA VALVULA DE ATEMPERACIÓN DE 25 PSI*)
21    AUX_PARO_JUGO_CRUDO:=0;
22    AUX_PARO:=0;
23
24    CONCENT_FLOC:=6; (*VALOR POR DEFECTO PARA CONCENTRACIÓN DE LAS ppm A DOSIFICAR PARA BTR*)
25    CONCENT_SOLUC_MADRE:=647.77; (*VALOR POR DEFECTO DADO PARA UNA DISOLUCION DE 1600 G ERN UN TANQUE DE 2470
L*)
26
27
28    AUX_FTV_FLOC:=0;
29    AUX_FTV_JU_CRUDO:=0;
30    AUX_FTV_NIVEL_PRE_B:=0;
31    AUX_FTV_PH:=0;
32    AUX_FTV_ATEMP_25PSI:=0;
33    AUX_FTV_ALIV_25_PSI:=0;
34    AUX_FTV_ALIV_10_PSI:=0;
35    AUX_SELEC_PRE_A_O_B:=0; (*SELECCIONO CON CUAL DE LOS DOS EVAPORADORES TRABAJO*)
36
37 END_IF;
38
39 AUX_TAG_INICIO:=1;
40
41
42 (* SI CUANDO REINICIO MI SISTEMAQ ESTOY EN LA HORA 23 ENTONCE VUELVO A CERO MI CONTADOR AUX_X PARA QUE
EMPIECE A CONTAR DESDE AHI *)
43 IF AUX_X=24 THEN
44     AUX_X:=0;
45 END_IF;
```

```
1
2 //-----
3          // CONTROL DE NIVEL DE TANQUE DE JUGO CRUDO, CONTROL DE PH.
4
5
6 IF AUX_PARO_JUGO_CRUDO=0 THEN
7
8   IF VALOR_ING_JUGO_CRUDO_TREND <=15 THEN          //SI NIVEL DEL TANQUE CRUDO ES <=15% PARA BOMBA DE J.
9   CRUDO Y J. ENCALADO Y VALVULA DE PH.
10
11      AUX_PARO_JUGO_CRUDO:=1;
12      SAL_JUGO_CRUDO:=4000;
13      AUX_SP_PH_JU_EN_RESP:=AUX_SP_PH_JU_EN;          //RESPALDO EL VALOR DE SP PUESTO EN FTVSE DE PH
14      INGRESADO
15
16      PID_PH_JU_EN.KI:=1;
17      PID_PH_JU_EN.KD:=1;
18      AUX_SP_PH_JU_EN:=0;
19      ELSIF VALOR_ING_JUGO_CRUDO_TREND <= 20 THEN          //SI NIVEL DEL TANQUE DE JUGO CRUDO <=40% BOMBEO AL
20      75%.
21      SAL_JUGO_CRUDO:= 12000;
22
23      ELSIF VALOR_ING_JUGO_CRUDO_TREND <= 40 THEN          //SI NIVEL DEL TANQUE DE JUGO CRUDO <=40% BOMBEO AL
24      75%.
25      SAL_JUGO_CRUDO:= 14000;
26
27      ELSIF VALOR_ING_JUGO_CRUDO_TREND <= 60 THEN          //SI NIVEL DEL TANQUE DE JUGO CRUDO <=40% BOMBEO AL
28      75%.
29      SAL_JUGO_CRUDO:= 16000;
30
31      ELSIF VALOR_ING_JUGO_CRUDO_TREND <= 70 THEN          //SI NIVEL DEL TANQUE DE JUGO CRUDO ES >=40 Y <=80%
32      VARIO VELOCIDAD DE BOMBEO DE 75 AL 100%
33      SAL_JUGO_CRUDO:= 18000;
34
35      ELSIF VALOR_ING_JUGO_CRUDO_TREND <= 100 THEN          //SI NIVEL DEL TANQUE DE JUGO CRUDO >100% BOMBEO AL
36      100%
37      SAL_JUGO_CRUDO:=20000;
38
39      END_IF;
40
41 END_IF;
42
43
44
45 IF AUX_PARO_JUGO_CRUDO=1 THEN
46
47   IF VALOR_ING_JUGO_CRUDO_TREND>=25 THEN
48
49      AUX_PARO_JUGO_CRUDO:=0;
50
51      AUX_SP_PH_JU_EN:=AUX_SP_PH_JU_EN_RESP;          //DEVUELVO EL VALOR SP DE PH RESPALDADO QUE FTVSE
52      INGRESO.
53
54      END_IF;
55      PID_PH_JU_EN.KI:=0.000001;
56      PID_PH_JU_EN.KD:=0;
57   END_IF;
58
59 //
```

```

-----
54 // CONTROL DE NIVEL DE TANQUE DE JUGO ENCALADO, Y FLUJO DE INGRESO A CLARIFICADOR SRT.
55
56 IF AUX_PARO=0 THEN
57
58
59 // IF VALOR_ING_JU_ENC_TREND<=20 OR AUX_PARO_JUGO_CRUDO=1 THEN
60
61 IF VALOR_ING_JU_ENC_TREND<=33 THEN
62
63     AUX_PARO:= 1;
64
65     PID_FLUJO_JU_EN.KI:=1;
66     PID_FLUJO_JU_EN.KD:=1;
67     SP_FLUJO_JU_EN:=0;
68     SAL_BOMBA_FLOCU:=0000;
69     ELSIF VALOR_ING_JU_ENC_TREND<=30 AND AUX_PARO_B=0 THEN
70         SP_FLUJO_JU_EN:=30;
71
72
73     SAL_BOMBA_FLOCU:= (19104.48*((VALOR_FLUJO_JU_EN_TREND)*(CONCENT_FLOC) / CONCET_SOLUC_MADRE))
74 +5170.15;
75
76
77     ELSIF VALOR_ING_JU_ENC_TREND<=40 AND AUX_PARO_B=0 THEN
78         SP_FLUJO_JU_EN:=40;
79         SAL_BOMBA_FLOCU:= (19104.48*((VALOR_FLUJO_JU_EN_TREND)*(CONCENT_FLOC) / CONCET_SOLUC_MADRE))
80 +5170.15;
81
82
83     ELSIF VALOR_ING_JU_ENC_TREND<=50 AND AUX_PARO_B=0 THEN
84         SP_FLUJO_JU_EN:=45;
85         SAL_BOMBA_FLOCU:= (19104.48*((VALOR_FLUJO_JU_EN_TREND)*(CONCENT_FLOC) / CONCET_SOLUC_MADRE))
86 +5170.15;
87
88
89     ELSIF VALOR_ING_JU_ENC_TREND<=60 AND AUX_PARO_B=0 THEN
90         SP_FLUJO_JU_EN:=45;
91         SAL_BOMBA_FLOCU:= (19104.48*((VALOR_FLUJO_JU_EN_TREND)*(CONCENT_FLOC) / CONCET_SOLUC_MADRE))
92 +5170.15;
93
94     ELSIF VALOR_ING_JU_ENC_TREND<=70 AND AUX_PARO_B=0 THEN
95         SP_FLUJO_JU_EN:=50;
96         SAL_BOMBA_FLOCU:= (19104.48*((VALOR_FLUJO_JU_EN_TREND)*(CONCENT_FLOC) / CONCET_SOLUC_MADRE))
97 +5170.15;
98
99     ELSIF VALOR_ING_JU_ENC_TREND<=80 AND AUX_PARO_B=0 THEN
100        SP_FLUJO_JU_EN:=50;
101        SAL_BOMBA_FLOCU:= (19104.48*((VALOR_FLUJO_JU_EN_TREND)*(CONCENT_FLOC) / CONCET_SOLUC_MADRE))
102 +5170.15;
103
104     ELSIF VALOR_ING_JU_ENC_TREND<=90 AND AUX_PARO_B=0 THEN
105        SP_FLUJO_JU_EN:=55;
106        SAL_BOMBA_FLOCU:= (19104.48*((VALOR_FLUJO_JU_EN_TREND)*(CONCENT_FLOC) / CONCET_SOLUC_MADRE))
107 +5170.15;
108
109     ELSIF VALOR_ING_JU_ENC_TREND<=95 AND AUX_PARO_B=0 THEN
110        SP_FLUJO_JU_EN:=60;
111        SAL_BOMBA_FLOCU:= (19104.48*((VALOR_FLUJO_JU_EN_TREND)*(CONCENT_FLOC) / CONCET_SOLUC_MADRE))
112 +5170.15;
113
114     ELSIF VALOR_ING_JU_ENC_TREND<=105 AND AUX_PARO_B=0 THEN //EL AUX_PARO_B=0 ME DICE QUE ESTOY EN
115     MODO AUTO
116         //SP_FLUJO_JU_EN:= (ING_JUGO_ENCALADO+000)/320; //X1:45 T/H EN EL Y1:30%, X2:65 T/H EN
117         EL Y2:100% NIVEL TANQUE DE JUGO ENCA
118         SP_FLUJO_JU_EN:=65;
119         SP_FLUJO_JU_EN_RESP:=SP_FLUJO_JU_EN; //RESPALDO AL VALOR DE SP_FLUJO_JU_EN
120
121     PARA WMMWV ZHWA EN WQW DE PARA
122         SAL_BOMBA_FLOCU:= (19104.48*((VALOR_FLUJO_JU_EN_TREND)*(CONCENT_FLOC) / CONCET_SOLUC_MADRE))
123 +5170.15;
124
125     ELSIF VALOR_ING_JU_ENC_TREND<=105 AND AUX_PARO_B=1 THEN //EL AUX_PARO_B=1 ME DICE QUE ESTOY EN
126     MODO MANUAL
127
128
129     SP_FLUJO_JU_EN_RESP:=SP_FLUJO_JU_EN;
130     SAL_BOMBA_FLOCU:= (19104.48*((VALOR_FLUJO_JU_EN_TREND)*(CONCENT_FLOC) / CONCET_SOLUC_MADRE))

```

```
+5170.15;
104
105 END_IF;
106
107 END_IF;
108
109
110 IF VALOR_IMB_JU_ENC_TREND>=30 AND AUX_PARD=1 AND AUX_PARD_JUGO_CRUDO=0 THEN
111
112 AUX_PARD:= 0;
113
114 PID_FLUJO_JU_EN.KI:=0.0001;
115 PID_FLUJO_JU_EN.KD:=0.0001;
116
117 END_IF;
118
119
120 //
-----
*****
121 IMBIBI // CONTROL PARA REGISTRO ANUAL , MENSUAL DIARIO, DE FLUJO DE J.ENCALADO, J.CRUDO, AGUA DE
122
123 IF AUX_HORA=AUX_X THEN // PONGO EN CERO LAS VARIABLES DE LOS CONTADORES DE VALOR DE HORA CUANDO
TRANSCURRE CADA HORA
124
125 CONT_CAUDAL_JU_EN_ACUM.ACC:=0;
126 CONT_BACHADAS_JUGO_CRUDO.ACC:=0;
127 CONT_FLUJO_AGUA_IMBIBICION.ACC:=0;
128 END_AUX_X:=AUX_X+1;
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138 IF AUX_HORA>=7 AND AUX_HORA<15 THEN //TURNO 1 DE 7 DE LA MANANA A 3 DE LA TARDE
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
TOTAL_T1_FLUJO_JU_ENCALADO:=CONT_CAUDAL_JU_EN_T1.ACC/100;
TOTAL_T1_FLUJO_JU_CRUDO:=CONT_BACHADAS_JU_CRU_TURNO.ACC*0.9825;
END_IF;
TOTAL_T1_FLUJO_AGUA_IMBIBI:=CONT_FLUJO_AGUA_IMB_TURNO.ACC/1000;
IF AUX_HORA>=15 AND AUX_HORA<23 THEN //TURNO 2, 3 DE LA TARDE 11 DE LA NOCHE
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
TOTAL_T2_FLUJO_JU_ENCALADO:=(CONT_CAUDAL_JU_EN_T1.ACC/100) - TOTAL_T1_FLUJO_JU_ENCALADO;
TOTAL_T2_FLUJO_JU_CRUDO:=CONT_BACHADAS_JU_CRU_TURNO.ACC*0.9825 - TOTAL_T1_FLUJO_JU_CRUDO;
END_IF;
TOTAL_T2_FLUJO_AGUA_IMBIBI:=CONT_FLUJO_AGUA_IMB_TURNO.ACC/1000 - TOTAL_T1_FLUJO_AGUA_IMBIBI;
IF AUX_HORA>=23 OR AUX_HORA<=0 AND AUX_HORA<7 THEN //TURNO 3, 11 DE LA NOCHE 7 DE LA MAÑANA
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
TOTAL_T3_FLUJO_JU_ENCALADO:=(CONT_CAUDAL_JU_EN_T1.ACC/100)-TOTAL_T1_FLUJO_JU_ENCALADO-
TOTAL_T2_FLUJO_JU_ENCALADO;
TOTAL_T3_FLUJO_JU_CRUDO:=CONT_BACHADAS_JU_CRU_TURNO.ACC*0.9825 - TOTAL_T1_FLUJO_JU_CRUDO -
TOTAL_T2_FLUJO_JU_CRUDO;
TOTAL_T3_FLUJO_AGUA_IMBIBI:=CONT_FLUJO_AGUA_IMB_TURNO.ACC/1000- TOTAL_T1_FLUJO_AGUA_IMBIBI -
```

```
TOTAL_T2_FLUJO_AGUA_IMBIBI;  
159 W:=0; //HABILITO EL TESTEO HASTA QUE LLEGUE LAS 7 DE LA MAÑANA PARA BORRAR TODO LO QUE SE REGISTRO EN  
EL DIA  
160  
161 END_IF;  
162  
163 // RESPALDO LAS VARIABLES DE FLUJO DE JU ENCALADO, AGUA DE IMBIBI, FLUJO JU. CRUDO DE TODO EL DIA  
164  
165 TOTAL_DIA_FLUJO_JU_ENCALADO:=CONT_CAUDAL_JU_EN_T1.ACC/100;  
166 TOTAL_DIA_FLUJO_JU_CRUDO:=CONT_BACHADAS_JU_CRU_TURNO.ACC*8.9825;  
167 TOTAL_DIA_FLUJO_AGUA_IMBIBI:=CONT_FLUJO_AGUA_IMB_TURNO.ACC/1000;  
168 Y:=0;  
169  
170  
171 // -----  
.....  
172  
173 IF W=0 THEN  
174  
175 IF AUX_HORA=7 THEN //PREGUNTO SI SON LAS 7 DE LA MAÑANA PARA PODER RESPALDAR, VALOR DIA, MES, Y PONER A  
CERO MIS CONTADORES  
176  
177 W:=1; // PARA QUE ESTA SUBROUTINA SE EJECUTE UNA SOLA VEZ AL DIA.  
178  
179 IF AUX_DIA=1 THEN //PREGUNTO POR EL PRIMER DIA DEL MES PARA PODER RESPALDAR EN LA DIRECCION CORRECTA  
EN LA MATRIZ DE MES Y DIA  
180  
181 IF AUX_MES=1 THEN //PREGUNTO POR EL PRIMER MES DEL AÑO PARA PODER ESCRIBIR EL ULTIMO DIA DE  
DICIEMBRE  
182  
183 FOR Y:=0 TO 23 DO  
184  
185 ANUAL_DIARIO_FLU_JU_CRUDO[(12),AUX_RESP_AUX_DIA,Y]:=VALOR_JUGO_CRUDO_HORA[Y]; //COMO ESTOY  
1 ENERO ESCRIBO EN DICIEMBRE  
  
186 VALOR_JUGO_CRUDO_HORA[Y]:=0;  
187 ANUAL_DIARIO_AGUA_IMBIBI[(12),AUX_RESP_AUX_DIA,Y]:=VALOR_FLUJO_AGUA_IMBIBICION_HORA[Y];  
188 VALOR_FLUJO_AGUA_IMBIBICION_HORA[Y]:=0;  
189 ANUAL_DIARIO_FLU_JU_ENCA[(12),AUX_RESP_AUX_DIA,Y]:=VALOR_FLUJO_HORA[Y];  
190 VALOR_FLUJO_HORA[Y]:=0;  
191  
192  
  
194 ANUAL_FLUJO_JU_ENCALADO[(12),AUX_RESP_AUX_DIA]:=TOTAL_DIA_FLUJO_JU_ENCALADO;  
195 ANUAL_FLUJO_JU_CRUDO[(12),AUX_RESP_AUX_DIA]:=TOTAL_DIA_FLUJO_JU_CRUDO;  
196 END_IF; ANUAL_FLUJO_AGUA_IMBIBI [(12),AUX_RESP_AUX_DIA]:=TOTAL_DIA_FLUJO_AGUA_IMBIBI;  
197  
198  
199 IF AUX_MES>1 THEN //SI MES ES DIFERENT DE ENERO DEBO RESTAR PORQUE YA ESTOY EN EL SIGUIENTE MES  
CUANDO ESTOY EN EL DIA 1  
200  
201 FOR Y:=0 TO 23 DO  
202  
203  
  
204 ANUAL_DIARIO_FLU_JU_CRUDO[(AUX_MES-1),AUX_RESP_AUX_DIA,Y]:=VALOR_JUGO_CRUDO_HORA[Y];  
205 [Y]; VALOR_JUGO_CRUDO_HORA[Y]:=0;  
206 ANUAL_DIARIO_AGUA_IMBIBI[(AUX_MES-1),AUX_RESP_AUX_DIA,Y]:=VALOR_FLUJO_AGUA_IMBIBICION_HORA  
  
207 VALOR_FLUJO_AGUA_IMBIBICION_HORA[Y]:=0;  
208 ANUAL_DIARIO_FLU_JU_ENCA[(AUX_MES-1),AUX_RESP_AUX_DIA,Y]:=VALOR_FLUJO_HORA[Y];  
209 END_FOR  
210 VALOR_FLUJO_HORA[Y]:=0;  
211  
212
```

```
213 ANUAL_FLUJO_JU_ENCALADO[ (AUX_MES-1),AUX_RESP_AUX_DIA ]:=TOTAL_DIA_FLUJO_JU_ENCALADO;
214 ANUAL_FLUJO_JU_CRUDO[ (AUX_MES-1),AUX_RESP_AUX_DIA ]:=TOTAL_DIA_FLUJO_JU_CRUDO;
215 ANUAL_FLUJO_AGUA_IMBIBI [ (AUX_MES-1),AUX_RESP_AUX_DIA ]:=TOTAL_DIA_FLUJO_AGUA_IMBIBI;
216
217 END_IF;
218
219 END_IF;
220
221 IF AUX_DIA>1 THEN // A PARTIR DEL SEGUNDIA DIA DEL MES YA ESCRIBO NORMALMENTE.
222
223     FOR Y:=0 TO 23 DO
224
225         ANUAL_DIARIO_FLU_JU_CRUDO[ (AUX_MES), (AUX_DIA-1),Y ]:=VALOR_JUGO_CRUDO_HORA[Y];
226         VALOR_JUGO_CRUDO_HORA[Y]:=0;
227         ANUAL_DIARIO_AGUA_IMBIBI[ (AUX_MES), (AUX_DIA-1),Y ]:=VALOR_FLUJO_AGUA_IMBIBICION_HORA[Y];
228         VALOR_FLUJO_AGUA_IMBIBICION_HORA[Y]:=0;
229         ANUAL_DIARIO_FLU_JU_ENCA[ (AUX_MES), (AUX_DIA-1),Y ]:=VALOR_FLUJO_HORA[Y];
230         VALOR_FLUJO_HORA[Y]:=0;
231     END_FOR;
232
233
234     ANUAL_FLUJO_JU_ENCALADO[ (AUX_MES), (AUX_DIA-1) ]:=TOTAL_DIA_FLUJO_JU_ENCALADO;
235     ANUAL_FLUJO_JU_CRUDO[ (AUX_MES), (AUX_DIA-1) ]:=TOTAL_DIA_FLUJO_JU_CRUDO;
236     ANUAL_FLUJO_AGUA_IMBIBI [ (AUX_MES), (AUX_DIA-1) ]:=TOTAL_DIA_FLUJO_AGUA_IMBIBI;
237
238 END_IF;
239
240 CONT_CAUDAL_JU_EN_T1.ACC:=0; //HAGO CERO EL VALOR TOTAL DE CONTEOS DE FLUJO DE JUGO ENCALADO
241 CONT_FLUJO_AGUA_IMB_TURNO.ACC:=0; //HAGO CERO EL VALOR TOTAL DE CONTEOS DE FLUJO DE AGUA DE
242 IMBIBICION //HAGO CERO EL VALOR TOTAL DE CONTEOS DE FLUJO DE JUGO CRUDO
243 CONT_BACHADAS_JU_CRU_TURNO.ACC:=0; //HAGO CERO EL VALOR TOTAL DE CONTEOS DE FLUJO DE JUGO CRUDO
244
245 //HAGO CERO MIS VARIABLES A MOSTRAR EN SUPERVISORIO DEL TOTAL DEL DIA T2 Y T3
246
247 TOTAL_T2_FLUJO_JU_ENCALADO:=0;
248 TOTAL_T2_FLUJO_JU_CRUDO:=0;
249 TOTAL_T2_FLUJO_AGUA_IMBIBI:=0;
250
251 TOTAL_T3_FLUJO_JU_ENCALADO:=0;
252 TOTAL_T3_FLUJO_JU_CRUDO:=0;
253 TOTAL_T3_FLUJO_AGUA_IMBIBI:=0;
254 END_IF;
255 END_IF;
256
257 // .....
258
259 IF AUX_HISTORICO_1 THEN // AUX_HISTORICO_1 ES 1 ENTONCE CARGO LOS RESPALDOS A MOSTRAR
260
261     FOR Y:=0 TO 23 DO
262
263         TOTAL_DIA_HIST_JU_CRUDO[Y]:=ANUAL_DIARIO_FLU_JU_CRUDO[ (AUX_MATRIZ_MES), (AUX_MATRIZ_DIA), (Y) ];
264
265         TOTAL_DIA_HIST_JU_ENCA[Y]:=ANUAL_DIARIO_FLU_JU_ENCA[ (AUX_MATRIZ_MES), (AUX_MATRIZ_DIA), (Y) ];
266
267         TOTAL_DIA_HIST_AGUA_IMBIBI[Y]:=ANUAL_DIARIO_AGUA_IMBIBI[ (AUX_MATRIZ_MES), (AUX_MATRIZ_DIA), (Y) ];
268     END_FOR;
269
270
271
272 TOTAL_TOTAL_DIA_HIS_JU_CRUDO:=ANUAL_FLUJO_JU_CRUDO[ (AUX_MATRIZ_MES), (AUX_MATRIZ_DIA) ];
273 TOTAL_TOTAL_DIA_HIS_JU_ENCA:=ANUAL_FLUJO_JU_ENCALADO[ (AUX_MATRIZ_MES), (AUX_MATRIZ_DIA) ];
274 TOTAL_TOTAL_DIA_HIS_AGUA_IMBI:=ANUAL_FLUJO_AGUA_IMBIBI[ (AUX_MATRIZ_MES), (AUX_MATRIZ_DIA) ];
```

B SP\_FLUJO - Structured Text  
 CLARIFIC\_JUGO\_MainTask\_MainProgram  
 Total number of lines in routine: 361

Page 6  
 05/01/2019 07:53:26 p.m.  
 C:\Users\Denken08\Desktop\Elaboracion\MOLIENDA.ACD

```

274
275 END_IF;
276
277 // ----- CONTROL MANUAL AUTO AGUA DE IMBIBICION -----
278 // .....
279
280
281
282 IF AUX_M_A_AGUA_IMBIBI=0 THEN // ESTOY EN MODO MANUAL PARA AGUA DE IMBIBICION
283
284     SP_FLUJO_AGUA_IMBIBICION:= (AUX_SP_FLUJO_AGUA_IMBIBICION/150);
285
286 END_IF;
287
288
289
290 IF AUX_M_A_AGUA_IMBIBI=1 THEN // ESTOY EN MODO AUTOMÁTICO PARA AGUA DE IMBIBICION
291
292     IF AUX_MINUTO <= 5 THEN //DURANTE LOS 5 PRIMEROS MINUTO ANALIZO LA HORA DE MOLIENDA ANTERIOR
293
294
295         IF AUX_HORA=0 THEN //PREGUNTO CUANDO ESTOY EN HORA CERO Y CARGO EL VALOR 23 DEL VECTOR
296 VALOR DE JUGO CRUDO
297
298             IF VALOR_JUGO_CRUDO_HORA[23] <= 25 THEN // PREGUNTO SI EN LA HORA ANTERIOR SE
299 TUVO VALOR DE JUGO CRUDO MENOR A 6 TONELADAS
300
301                 AUX_SP_FLUJO_AGUA_IMBIBICION:= 9500;
302                 SP_FLUJO_AGUA_IMBIBICION:= (AUX_SP_FLUJO_AGUA_IMBIBICION/150);
303                 IF VALOR_JUGO_CRUDO_HORA[23] > 25 THEN // PREGUNTO SI EN LA HORA ANTERIOR SE TUVO
304 VALOR DE JUGO CRUDO MAYOR A 6 TONELADAS
305
306                     AUX_SP_FLUJO_AGUA_IMBIBICION:= (((VALOR_JUGO_CRUDO_HORA[23])*(0.99)
307 *AUX_PORCENT_AGUA_IMBIBICION)/100)*1000;
308                     SP_FLUJO_AGUA_IMBIBICION:= (AUX_SP_FLUJO_AGUA_IMBIBICION/150);
309
310                 END_IF;
311
312             ELSIF AUX_HORA=1 THEN // CUANDO LA HORA ES DIFERENTE DE CERO
313
314                 IF VALOR_JUGO_CRUDO_HORA[AUX_HORA-1] <= 25 THEN // PREGUNTO SI EN LA HORA ANTERIOR
315 SE TUVO VALOR DE JUGO CRUDO MENOR A 6 TONELADAS
316
317                     AUX_SP_FLUJO_AGUA_IMBIBICION:= 9500;
318                     SP_FLUJO_AGUA_IMBIBICION:= (AUX_SP_FLUJO_AGUA_IMBIBICION/150);
319                     IF VALOR_JUGO_CRUDO_HORA[AUX_HORA-1] > 25 THEN // PREGUNTO SI EN LA HORA ANTERIOR
320 SE TUVO VALOR DE JUGO CRUDO MAYOR A 6 TONELADAS
321
322                         AUX_SP_FLUJO_AGUA_IMBIBICION:= (((VALOR_JUGO_CRUDO_HORA[AUX_HORA-1])*(0.99)
323 *AUX_PORCENT_AGUA_IMBIBICION)/100)*1000;
324                         SP_FLUJO_AGUA_IMBIBICION:= (AUX_SP_FLUJO_AGUA_IMBIBICION/150);
325
326                     END_IF;
327
328                 END_IF;
329
330             END_IF;
331
332     END_IF;
333
334     IF AUX_MINUTO > 5 THEN

```

```
327
328     NIVEL_CHUTE_1:= (VALOR_JUGO_CRUDO_HORA[AUX_HORA]*59)/AUX_MINUTO;
329     AUX_SP_FLUJO_AGUA_IMBIBICION:= (((NIVEL_CHUTE_1)*(0.99)*AUX_PORCENT_AGUA_IMBIBICION)/100)
*1000;
330     SP_FLUJO_AGUA_IMBIBICION:= (AUX_SP_FLUJO_AGUA_IMBIBICION/150);
331
332     END_IF;
333
334 END_IF;
335 // ----- CONTROL DE VELOCIDAD DE MOLINO 1 -----
-----
336
337
338
339
340 // ----- SELECCION PARA CONTROL DE PRE EVAPORADOR A O B -----
-----
341
342
343
344
345 IF AUX_SELEC_PRE_A_O_B=0 THEN
346     AUX_VALOR_ING_PRE_AVB:= ING_NIVEL_PRE_VIEJO;
347
348
349 END_IF;
350
351
352 IF AUX_SELEC_PRE_A_O_B=1 THEN
353     AUX_VALOR_ING_PRE_AVB:= ING_NIVEL_PRE_NUEVO;
354
355
356 END_IF;
357
358
359
360
361
```