



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**PROPUESTA DE UN DISEÑO DE CONTROL
AUTOMÁTIZADO PARA EL PROCESO DE
PREPARACIÓN DE PULPAS DE PAPEL**

Autor: Cardozo Gómez, Ali Rafael
C.I: 16.354.158

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego.
Teléfono: (0241) 8714240 (Master) – Fax: (0241) 8712394



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**PROPUESTA DE UN DISEÑO DE CONTROL AUTOMÁTIZADO PARA EL
PROCESO DE PREPARACIÓN DE PULPAS DE PAPEL**

Trabajo de especial de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
INGENIERO ELECTRÓNICO.

Autor: Cardozo Gómez, Ali Rafael
C.I: 16.354.158
Tutor: Ing. Alezones, Raniere

San Diego, Junio de 2019



Universidad José Antonio Páez
Facultad de Ingeniería

FI-E-003-2019-ICE

Valencia, 22 de Abril de 2019,

Ciudadano:
Ali Cardozo
C.I:16.354.158
Presente.-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 01-2019 de fecha 22-04-2019 aprobó el proyecto de trabajo de grado **PROPUESTA DE UN DISEÑO DE CONTROL AUTOMÁTIZADO PARA EL PROCESO DE PREPARACIÓN DE PULPAS DE PAPEL**. Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónica.

Se ratifica la designación del Ing. Raniere Alezons, C.I: 8.843.809 y la Ing. Alicia de Pizzella, C.I: 4.598.880 como Tutores Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Prof. Luis Lira

Decano de la Facultad de Ingeniería



c. c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

L/Mc.



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Ranire Jose Alezones Ruiz, titular de la cedula de identidad N° 8.843.809, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano ALI RAFAEL CARDOZO GÓMEZ, titular de la cedula de identidad N° 16.354.158, titulado **“PROPUESTA DE UN DISEÑO DE CONTROL AUTOMÁTIZADO PARA EL PROCESO DE PREPARACIÓN DE PULPAS DE PAPEL”**. Presentado como requisito parcial para optar al título de ingeniero en Electrónica, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los _____ del año 2019

Ing. Ranire Alezones

C.I: 8.843.809

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pp
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN INFORMATIVO	xiv
INTRODUCCIÓN	1
 CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Formulación del problema.....	5
1.3 Objetivo de la investigación	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	6
1.4 Justificación del problema.....	6
1.5 Alcance.....	7
 II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes	8
2.2 Bases teóricas	9
2.2.1 Proceso de reciclaje del plomo	9
2.2.2 Sistema de Control Automático	13
2.2.3 Tipos de automatización.....	20
2.2.4 Controlador lógico programable (PLC)	24
2.2.5 Tipos de controladores lógicos programables (PLC)	25
2.2.6 Interfaz hombre maquina (HMI)	27
2.2.7 Comunicación entre PLC y HMI	28
2.3 Definición de términos básicos	30

III MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación	32
3.2 Diseño de la investigación.....	32
3.3 Nivel de la investigación	33
3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos	33
3.4.1. Técnicas empleadas	34
3.4.2. Instrumentos empleados.....	34
3.5 Fases de la investigación	35

IV RESULTADOS

4.1 Fase I: Analizar los aspectos teóricos del proceso de fabricación de papel para obtener las variables que actúan en el sistema de preparación de pulpas	37
4.1.1 Observación Directa.....	37
4.1.2 Revisión documental del proceso de Preparación de Pulpas.....	38
4.2 Fase II: Diagnosticar el impacto económico que tiene la propuesta de automatización del control de flujo másico en los sistemas de preparación de pulpas en el proceso productivo de papel tissue.....	46
4.2.1 Diagnostico de Impacto Económico.....	54
4.3 Fase III. Generar la programación de los controladores y las pantallas de interface Hombre Máquina (HMI) utilizados en el sistema automatizado de preparación de pulpas.....	56

V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones	57
5.2 Recomendaciones.....	59

REFERENCIAS	60
--------------------------	-----------

ÍNDICE DE TABLAS

TABLAS	CONTENIDO	Pp
4.2-1.	Características de la materia prima para la elaboración de papel tissue.....	47
4.2-2.	Peso de las pacas según el tipo de fibra.....	48
4.2-3.	Resultados de laboratorio de muestreo de consistencia para la pulpa.....	49
4.2-4.	Resultados de laboratorio de muestreo de consistencia para la pulpa.....	50
4.2-5.	Porcentaje de rechazos en los equipos de limpieza y depuración.....	50
4.2-6.	Datos de materia prima y producción Molino 3.....	51
4.2-7.	Consumo Materia prima en Pulpadora.....	52
4.2-8.	Costo de Tonelada de Materias Primas.....	52
4.2-9.	Precio del Papel Tissue (Papel Higiénico).....	52
4.2-10.	Dosificación de fibras para la máxima rata de producción.....	53
4.2-11.	Perdidas por falta de control de relación de flujos máxicos.....	54
4.2-12.	Diagnostico pérdidas por mala dosificación en la preparación de pulpas.....	54
4.2-13.	Diagnóstico costo de implantación de Propuesta.....	55
4.2-14.	Diagnóstico costo-Beneficio de la propueta.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	CONTENIDO	Pp
1.	Árboles para la cosecha	10
2.	Árboles cosechados para la Producción de Pulpa.	11
3.	Celulosa Blanqueada de Eucalipto.....	12
4.	Esquema Máquina Papelera Secciones: Formación, prensado y Secado.....	13
5.	Esquema Máquina Papelera. Secciones: Secado, prensado, crepado y obtención de Bobinas.....	13
6.	Bosquejo general de un Sistema.	14
7.	Esquema de un control por relación.....	15
8.	Primera alternativa para el control por relación.....	16
9.	Segunda alternativa para el control por relación.....	17
10.	Tanque con dos flujos de entrada.....	17
11.	Posibles soluciones para el problema planteado	18
12.	Alternativas para el control por relación.....	19
13.	Diagrama en bloques de controladores conectados en cascada	20
14.	Descripción de Partes de un (PLC)	21
15.	PLC Modular.....	24
16.	HMI tipo Panel View	26
17.	Computador y Software HMI.....	27
18.	Niveles de Redes de Comunicación Industriales	28
19.	Niveles de Redes de Comunicación Industriales (Hardware).....	30
20.	Controladores dedicados de Preparación de Pulpas.....	39
21.	Panel de Control de Preparación de Pulpas.....	42



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PROPUESTA DE UN DISEÑO DE CONTROL AUTOMÁTIZADO PARA EL PROCESO DE PREPARACIÓN DE PULPAS DE PAPEL

Autor: Cardozo Gómez, Ali Rafael

Tutor: Ing. Raniere Alezones

Fecha: Abril 2019

RESUMEN INFORMATIVO

El presente proyecto de investigación surge de la problemática existente en una cantidad importante de plantas papeleras, donde los procesos para la producción de pulpa y papel son controlados por dispositivos dedicados en sistemas independientes, por lo que habitualmente se hace difícil mantener el control de consumo de materias primas, la estabilidad en los parámetros de calidad y el gramaje de la hoja en las bobinas de papel producidas. En consecuencia, el proyecto de investigación tiene como principal objetivo, el diseño de un sistema de control automatizado para la preparación de pulpas utilizadas en el proceso productivo de una planta papelera. Para facilitar el proceso de recolección de datos; se utilizaron la observación directa y la revisión documental. En lo que respecta a la línea de investigación, esta se sitúa en la intersección de las áreas de conocimiento de la automatización industrial y el control e instrumentación mecatrónica. Este sistema podrá reducir los costos de producción e incrementar las ganancias en la elaboración y comercialización de los diferentes tipos de papel. En consecuencia, el diseño del sistema de control es totalmente factible, ya que la propuesta del mismo llevaría a reducir la dependencia de la intervención humana en los procesos involucrados en preparación de pulpas y elaboración de bobinas de papel, además de ser de gran ayuda para futuros proyectos relacionados al campo de la investigación en la producción de pulpa y papel.

Descriptor: Automatización, sistema, plantas papeleras.

INTRODUCCIÓN

Se cree que la fabricación de papel tiene su origen en China hacia el año 100 D.C.: se utilizaban trapos, cáñamo, paja y hierba como materias primas y se golpeaban contra morteros de piedra para separar la fibra original. Aunque con el tiempo ganó terreno la mecanización, hasta el siglo XIX siguieron utilizándose los métodos de producción por lotes y las fuentes de fibra agrícolas. Las primeras máquinas continuas de papel se patentaron en los años de cambio del siglo XIX al XX. Entre 1844 y 1884 se desarrollaron los primeros métodos para la obtención de pasta de madera, una fuente de fibra más abundante que los trapos o las hierbas; estos métodos implicaban la abrasión mecánica y la aplicación de procedimientos químicos a base de sosa cáustica, sulfitos y sulfatos (Celulosa al sulfato). Con estos cambios se inició la era moderna de la fabricación de pasta y de papel.

En la actualidad los mayores productores de pasta y papel son Estados Unidos, Canadá, Japón, China, Finlandia, Suecia, Alemania, Brasil y Francia (todos ellos con cifras superiores a 10 millones de toneladas en 1994 (Fuente: Datos adaptados para PPI 1995). A pesar de las grandes cantidades de toneladas producidas estas se alcanzan a costa de grandes costos de producción e impacto ecológico que incrementan el precio del producto final, motivado al bajo nivel de automatización que posee este tipo de plantas en países como Venezuela.

En lo que respecta a la investigación necesaria para desarrollar el presente proyecto se llevó a cabo en una empresa Papeles Venezolanos C.A, donde se realizaron estudios y análisis del proceso de producción de pulpa y papel, de tipo documental para la línea de diseño y automatización, directamente en la planta de molinos (Máquinas Papeleras) donde ocurre el proceso de preparación, mezclado de pulpas y la producción de las bobinas de papel.

El presente trabajo de investigación está estructurado en cuatro capítulos, con el fin de cumplir las normativas establecidas por la Universidad José Antonio Páez, dichos capítulos se describen a continuación:

El **Capítulo I** describe con detalle la problemática que da pie a esta investigación, planteando una solución como objetivo general con los objetivos específicos que marcan los pasos a seguir en la investigación, para llegar al resultado esperado.

El **Capítulo II** se centra en la parte conceptual de la investigación, y representa todos los conocimientos utilizados en la misma, describiendo todos los aspectos que se tomaron en cuenta, para que así cualquier persona que esté interesada en el tema expuesto. Los antecedentes de la investigación de trabajos relacionados en un pasado cercano, los cuales aportan datos necesarios para llevar a cabo el proyecto, y en último caso tenemos la definición de los términos básicos.

El **Capítulo III**: Este capítulo, el marco metodológico describe el tipo y diseño de la investigación a utilizar para cumplir los objetivos del proyecto, además se detallan las fases metodológicas que se utilizaran para desarrollar el proyecto.

El **Capítulo IV**: En este capítulo, se habla de los recursos utilizados para poder realizar este proyecto. a investigación necesaria para desarrollar el presente proyecto se llevó a cabo en una empresa papelera, donde se realizaron estudios y análisis del proceso de fabricación con un tipo de investigación documental para la línea de diseño y automatización, directamente en el área de preparación de pulpa para la fabricación de papel, de un proceso ya existente.

El **Capítulo V**: En este capítulo se hacen las conclusiones pertinentes a este trabajo de investigación, además de las recomendaciones a futuros trabajos que abarque el estudio y la automatización de procesos en el área de fabricación de pulpa y papel.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Las herramientas y metodologías para el control de procesos han sido desarrolladas para ayudar a maximizar la capacidad de los procesos, el rendimiento y la calidad del producto, ahorrar energía y materias primas, y al mismo tiempo reducir las variaciones del proceso y las intervenciones humanas. En el caso de un sistema de control, la función del mismo es mantener cualquier variable de interés, como la velocidad de una máquina o la tasa de inflación de un país, dentro de unos límites determinados, o alterarla de una manera deseada.

Por su parte los procesos industriales son muy variados y abarcan muchos tipos de productos, incluyendo derivados del petróleo, textiles, alimentos, papel, y otros. En todos estos casos, la función de los sistemas de control es la regulación de la variable controlada (nivel, temperatura, PH, caudal, consistencia, conductividad, entre otras) de una manera más eficiente, rápida y confiable de cómo lo haría un operador humano. La consistencia representa esencialmente el porcentaje de material seco o todos los componentes sólidos en una cantidad total de una muestra. El término consistencia se aplica en la industria en la fabricación de pinturas, papel, envase de productos alimenticios y otros.

No es menos cierto que las unidades de consistencia son totalmente distintas a las de viscosidad y se expresan en unidades arbitrarias. Por ejemplo, en la industria papelera, la consistencia designa la proporción entre el peso de la materia seca o fibra de pulpa seca y el peso total de los sólidos más el agua que las transporta. Y así:

$$\text{Consistencia \%} = \frac{\text{Peso seco de Sólidos Suspendidos (Kg)}}{(\text{Peso Sólidos Suspendidos} + \text{Agua}) (\text{Kg})}$$

En la industria papelera, la consistencia suele medirse en línea mediante sensores de tipo lámina que miden la fuerza de cizallamiento de las fibras en movimiento, a través de un medidor de disco rotativo que traduce el desfasaje de discos dentados en su interior ocasionado por par de torsión, en consistencia de las fibras en movimiento.

En lo que se refiere al control de preparación de pulpas, es necesario aplicar la estrategia de control en cascada en conjunto con un control de relación para así satisfacer la regulación de dos o más cantidades de caudal de fluidos. Donde la variable controlada no puede mantenerse dentro del punto de consigna, por óptimos que sean los ajustes del controlador, debido a las perturbaciones que se producen en algunas condiciones del proceso, como lo es las variaciones de consistencias.

Ahora bien para comprender claramente la necesidad del uso de esta estrategia de control y su principio de operación, es de vital importancia saber que, cuando la variable medida se desvía del punto de consigna, el controlador varía la posición de la válvula y si todas las características del proceso (presión, temperatura, consistencia, caudal, entre otros) permanecen constantes, el control será generalmente bueno. Sin embargo, si una de las características, por ejemplo la consistencia, cambia de forma incontrolada, el caudal másico a través de la válvula seguirá la misma variación aunque el vástago no experimente movimiento. Será una casualidad que el controlador elimine totalmente las perturbaciones ya que estas son aleatorias.

Por lo tanto, las continuas perturbaciones en el control de nivel de un tanque que pudiera variar a partir de los cambios en las características del producto que lo alimenta, no solo darán lugar a una corrección continua e innecesaria en la válvula, sino que perjudicarán el logro de una buena regulación, pudiendo incluso impedir totalmente el control del proceso.

Para poder ilustrar lo antes expuesto es necesario comprender el proceso de fabricación de papel que se lleva a cabo en una planta de la industria papelera. Primero: Cuando llegan las pacas al patio de almacenamiento (recepción de materia prima), estas son clasificadas según el tipo de fibra (pulpas químicas, pulpas

mecánicas, fibras secundarias). La fibra química se desintegra en la pulpadora del molino y la fibra secundaria se lleva a los sistemas de limpieza, donde se clasifican, depuran y solo lo aceptado continúa en el proceso; de allí pasa a tanques de almacén de pulpas y luego a los tanques de alimentación del molino.

Segundo: Ya preparada la pulpa, pasa al tanque de mezcla y luego al tanque de refinación donde se puede agregar pastas de alto rendimiento y/o algunos productos químicos. Tanques donde no se controla el caudal másico de las pulpas que allí se mezclan, debido a las variaciones de consistencia en los caudales de los diferentes tipos de fibras que se vierten al tanque de mezcla, generando cambios de volumen o (régimen de carga), que afectan la fuerza, calibre, gramaje entre otras características del papel, aunado al descontrol en la utilización eficiente de la materia prima, para cumplir con el proceso de producción.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, la presente investigación se orienta a diseñar un sistema de control multivariable que logre recoger centralizadamente los datos de proceso y ejercer control de la preparación de pulpas mediante un sistema de control distribuido (DCS), basado en la arquitectura de controladores marca Rockwell Automation, como lo son la línea de controladores Logix 5000 e integrados a una interface hombre máquina desarrollada en el software FactoryTalk View del mismo fabricante.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo se podrá mejorar el proceso de preparación de pulpas en la planta de Papeles Venezolanos C.A?

1.3 Objetivo de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Proponer un diseño de control automatizado para el proceso de preparación de pulpas de papel.

1.3.2 Objetivos específicos

Analizar los aspectos teóricos del proceso de fabricación de papel para obtener las variables que actúan en el sistema de preparación de pulpas.

Evaluar el impacto económico de la propuesta de automatización del control de flujo másico en los sistemas de preparación de pulpas de papel tissue con la razón beneficio-costo.

Generar la programación de los controladores y las pantallas de interface Hombre Máquina (HMI) de los procesos de preparación de pulpa y fabricación de papel.

1.4 Justificación del problema

La selección del sistema de control es usualmente un compromiso entre la calidad del control que se desea y el coste del sistema de control. Es decir, debe ser suficiente para satisfacer la tolerancia requerida en el proceso, pero no debe incluir excesivos refinamientos que lo encarezcan. Debido a esto los controladores de consistencia deben estar incluidos en la estrategia de control que logre mantener estable el caudal másico, volumen y régimen de carga de cada una de las pulpas utilizadas en el proceso de producción, ya que estas representan el 65% de los costos de producción. Además de evitar el impacto negativo que esto genera en los parámetros de calidad como lo son: La fuerza, calibre, gramaje, e incluso color de las bobinas de papel producido.

Entonces corrigiendo la variación de las masas de fibra que se vierten en los tanques de mezcla y refinación, se podrá lograr mantener el control del caudal másico, controlaran el consumo de químicos, controlaran los costos de producción asociado a las fibras y mejorara la calidad en la producción de bobinas, disminuyendo así las pérdidas por rechazo de estas.

Finalmente es de importancia destacar que este sistema funciona de manera modular, por lo que puede ser integrado al sistema de control de nivel y relación de flujos de mezclado en los tanques donde se vierta más de una clase de fibra que

pudiera existir en la máquina papelera y en el proceso de producción de fibras en una planta productora de materia prima. En consecuencia otorgaría un empleo más eficiente del personal que se encarga de las operaciones de la planta.

1.5 Alcance

El diseño de un sistema de control automatizado para el control de preparación de pulpas va a estar destinado para el proceso de fabricación de papel. El tiempo disponible para el diseño del sistema de preparación de pulpas se ha establecido en treinta y dos semanas desde febrero hasta octubre del 2019. Por lo tanto la propuesta estará basada en el diseño de un sistema de control automatizado que le brinde a las empresas del sector papelerero asentar las bases técnico científicas para la innovación tecnológica de sus procesos que reduzcan los costos de producción, además de brindarle los datos del impacto económico en la elaboración y comercialización de los diferentes tipos de papel al no disponer de los sistemas propuestos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Para la realización del presente trabajo de investigación, se realizará una síntesis de los trabajos que han servido como referencia y apoyo para el presente, brindándole cuerpo teórico y metodológico. Dichos trabajos son los siguientes:

Mogrovego, Diego (2017) en su trabajo especial de postgrado titulado **“Diseño e Implantación de un Sistema de Cuatro Tanques interconectados con control PID Robusto Multivariable”**. Para optar por el título de Magister en control y Automatización Industriales de la universidad Politécnica Salesiana de Ecuador. El trabajo tuvo como objetivo servir como modelo de ensayo en aplicaciones didácticas orientadas al diseño de controladores de sistemas de múltiples entradas y múltiples salidas, que obedecen a la acción de control sobre las variables de entrada.

Este trabajo guarda directamente relación con este proyecto, ya que el tipo de investigación es documental enmarcada en un medio real de proceso, se utilizó la técnica de observación directa orientándose a solucionar una problemática enmarcada. La información suministrada por la investigación, apporto las bases para establecer la estrategia de control necesaria para mejorar la estabilidad en el control de flujo másico de fibras, manteniendo en todo momento la capacidad para el control automático de la consistencia de cada uno de estos, por tener una respuesta suficientemente rápida para lograr un régimen de carga constante.

Por su parte Álvarez, R, Calderón, N (2015), tuvo como título **“Diseño, construcción y pruebas de un prototipo automatizado para dosificación y mezclado de 4 componentes, tres de ellos a granel y uno líquido obteniendo como mezcla hasta 15kg/h para el laboratorio de automatización industrial, implementado por la tecnología rockwell automation”**, para optar por el título de ingeniero electrónico e ingeniero mecánico en la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, Colombia.

La investigación tuvo como objetivo el diseño, construcción y pruebas de un prototipo para dosificación y mezclado de 4 componentes, el cual tiene como función manipular las variables de peso para los productos sólidos y de volumen para los productos líquidos. Para realizar el control del prototipo se desarrolló un programa con respecto al software RSlogix 5000, el cual realiza un control On-Off para controlar los actuadores del sistema como lo son las electroválvulas, solenoide y motores.

Es por ello que la investigación, aporó las bases para realizar la programación del sistema de preparación y mezcla de pulpas, el cual realiza dicho proceso de manera similar al propuesto en este trabajo de grado.

Finalmente, Iglesias, J (2018) realizó un trabajo de investigación el cual se tituló **“automatización de un sistema de dosificación, mezclado y transporte de la materia prima para la alimentación de los hornos rotativos en una empresa metalúrgica”**, para optar al grado de Ingeniero Electrónico de la universidad José Antonio Páez de Valencia, Venezuela. El propósito de este trabajo de grado es el de presentar métodos sistemáticos aprovechando las funciones y posibilidades que ofrecen actualmente los autómatas en comparación a los sistemas clásicos empleados hace unas décadas.

Dicho trabajo de investigación, aporó el procedimiento general para la programación del controlador lógico programable (PLC), además, de la información necesaria para realizar una conexión correcta entre el PLC y la interfaz de hombre maquina (HMI), la cual es necesaria para llevar a cabo este proyecto.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Proceso de Producción de Pulpa y Papel

El proceso de producción de papel se inicia con la plantación de bosques productivos para la obtención de madera, que es la materia prima de la industria. La madera es tratada en diferentes subprocesos hasta lograr extraer la celulosa de sus fibras, con la cual se produce posteriormente el papel. En este proceso se pueden identificar tres grandes subprocesos:

Silvicultura y extracción de madera

Corresponde al subsector dedicado a la creación, manejo y cosecha de un cultivo y luego su posterior reforestación. Incluye procesos de siembra en viveros forestales, habilitación y mejoramiento de los terrenos, plantación, fertilización, raleo, poda y cosecha, (ver figura 1). Asimismo, en este subsector se considera la creación de caminos en los predios donde se ubican las plantaciones, para el desplazamiento de maquinaria y, finalmente, la cosecha y transporte de los árboles.



Una vez que los arboles han alcanzado su madurez, viene el proceso de talado, donde se cosechan los árboles, para luego ser utilizado en las plantas productoras de Pulpas.

Producción de Celulosa

Recordemos que la madera está compuesta por: Celulosa, hemicelulosa, lignina, resinas, ceras y grasas. El proceso de obtención de celulosa consiste en separar la celulosa de los otros elementos presentes en la madera. Para ello, primero se procesan los trozos de madera para convertirlos en astillas, (ver figura 2).

Luego, estas astillas, que también pueden provenir de los aserraderos, como subproducto, pasan a un proceso de digestión, donde se les aplican altas presiones, formando una pasta que es sometida a varios lavados y secados posteriores.

Finalmente, y si corresponde, pasan al blanqueo, donde se utiliza una mezcla de sulfuro de sodio e hidróxido de sodio para extraer la lignina.



La pulpa resultante, (ver figura 3) se distribuye formando láminas que pasan por distintos procesos de finalización, tales como secado, dimensionado, prensado, apilado y embalado. Los principales tipos de celulosa que se producen son:

Celulosa cruda o no blanqueada: Celulosa de Pino radiata, no pasa por el proceso de blanqueo, se utiliza principalmente para producir papeles para envolver y embalajes, por su alta resistencia.

Celulosa blanqueada de Pino radiata (BTMP): Celulosa con proceso de blanqueo, que se caracteriza por su blancura. Se utiliza para papeles de escritura, impresión y papeles sanitarios.

Celulosa blanqueada de Eucalipto: Celulosa con proceso de blanqueo, que entrega un acabado superficial del papel, permitiendo su uso para papeles tissue de alta calidad, papeles finos de impresión y escritura, (ver figura 3).

El aceptado de este proceso es conducido a través de canales que inician el proceso de fabricación de papel, donde pasa el cual se realiza a través de zarandas, depuradores ciclónicos, coladores, refinadores y espesadores, para luego ser almacenada en los tanques de procesos de la máquina papelera.

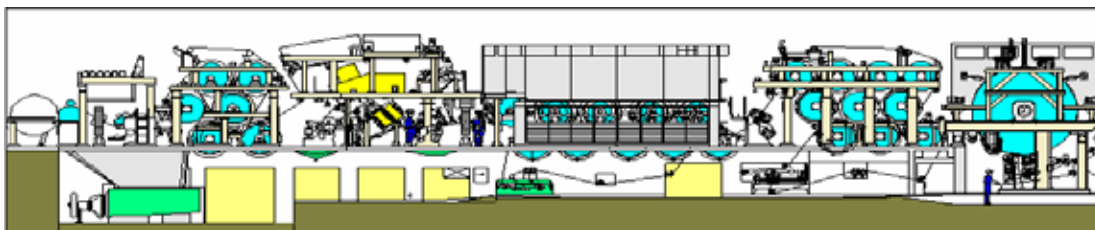
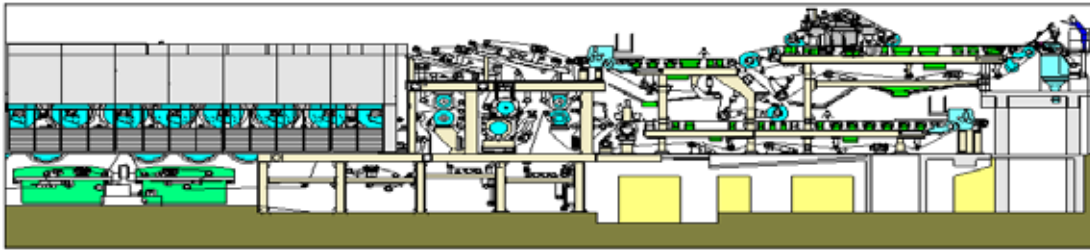


Máquina Papelera

Una vez que la pasta de fibra ha sido refinada depurada y colada proveniente desde los tanques de máquina e ingresa a las cajas de entrada, en donde se controla los gramajes de los componentes de la hoja de papel, (ver figura 4). El peso o gramaje del papel puede aumentarse agregando mayor cantidad de fibras en la pasta, es decir, aumentando la densidad de ésta.

Esta pasta luego cae sobre una tela móvil o fourdrinier donde se produce el entrecruzamiento de fibras, a medida que la tela avanza, se va drenando el contenido de agua de la pasta, quedando sobre la tela una película de fibras húmedas que constituyen la hoja de papel, (ver figura 5). Las hojas provenientes de la sección de telas se juntan en una sola, antes de pasar por la prensa; para facilitar su pegado se les agrega un adhesivo en base a almidón.

A continuación la hoja de papel pasa por prensas que la estrujan y, luego, a través de cilindros secadores calentados con vapor que terminan de secarla. Por último, el papel es rebobinado en la parte final de la máquina, obteniéndose un rollo listo para ser usado o para ser cortado y transformado en los diferentes productos de la planta.



2.2.2 Sistema de Control Automático

Con el paso del tiempo el control automático ha jugado un papel importante en el avance científico de la humanidad. Actualmente la industria basa gran parte de sus soluciones de automatismo en el control moderno. El control moderno tiene como eje fundamental el uso de controladores digitales, elementos de control numérico o servomecanismos relacionados con aplicaciones de la tecnología de la información, todo ello reduciendo la necesidad de la intervención del ser humano.

En 1922, Minorsky demostró que la estabilidad de un sistema puede determinarse a partir de las ecuaciones diferenciales que describen el mismo.

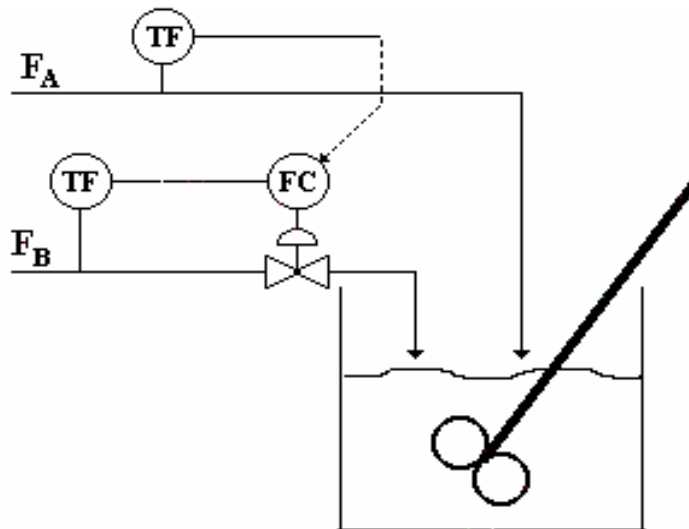
Un sistema dinámico se puede definir como un elemento que tiene una entrada de variables y unas salidas, que son la respuesta determinada por dichas variables de entrada, (Ver figura 06).

reduzcan o eliminen por completo estas perturbaciones que terminarían en el descontrol del proceso.

Estrategias de Control Avanzadas

Control por Relación

Como su nombre lo indica el control por relación mantiene constante la relación de dos o más flujos, (Ver figura 7). Estos procesos incluyen: mezcla de gasolina, proporción de reactivos para un reactor químico, la mezcla de una corriente fría con una caliente para obtener una determinada temperatura en una mezcla en particular, etc.



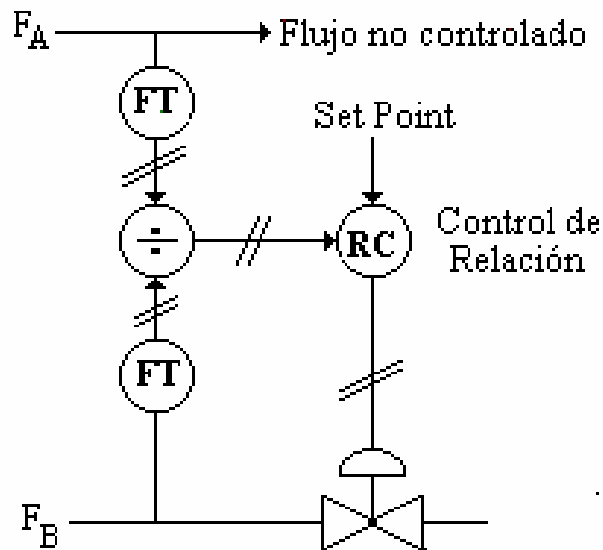
En la figura 7 se puede apreciar un esquema de un control por relación, se puede observar que el flujo F_A se puede medir más no se puede controlar y se debe garantizar que los flujos F_A y F_B estén entrando al tanque con una relación (R).

$$R = \frac{F_B}{F_A}$$

La rata de flujo de la variable (señal) no controlable es medida y la rata de flujo de la variable manipulada es medida y regulada para así mantener entre los dos flujos una relación constante.

Existen dos alternativas para lograr el control por relación: En la figura 8 se puede apreciar la primera alternativa para el control por relación.

En este caso los dos flujos son medidos y su relación es calculada (por el divisor). Esta relación calculada es alimentada a un controlador convencional PI como la señal de medida del proceso. La salida del controlador va a la válvula sobre la variable manipulada que cambia el flujo proporcionalmente de manera de mantener la relación de los dos flujos constantes. Esta relación calculada puede ser usada para disparar una alarma también.

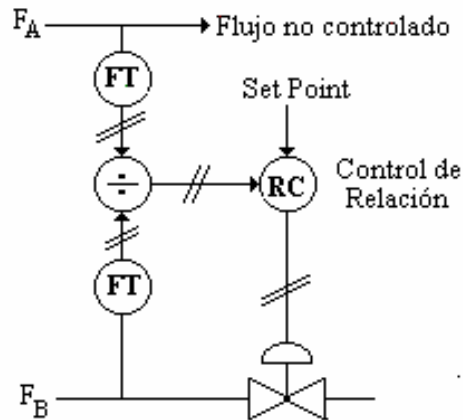


Se tiene:

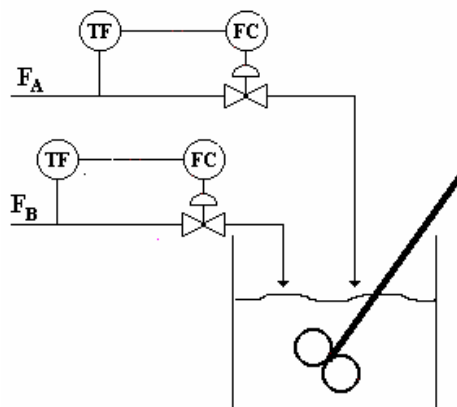
$$\frac{R}{F_A} \frac{F_B}{F_A} \frac{R}{F_A}$$

En la figura 9 se observa la segunda alternativa para el control por relación. En este caso el flujo no controlado es medido y este flujo es multiplicado por un valor

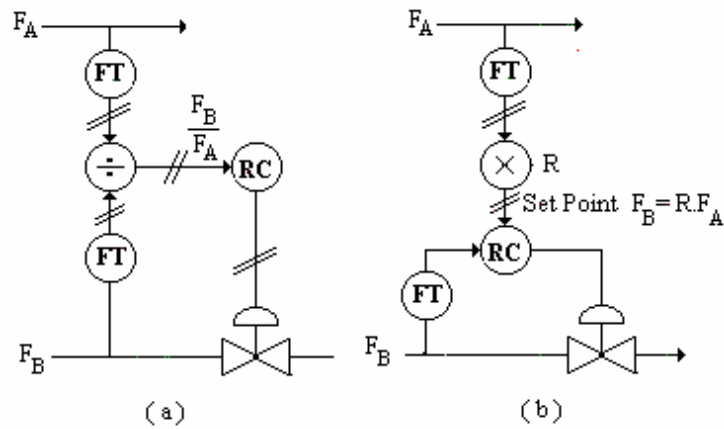
constante, que proporciona la relación deseada. La salida del multiplicador es el Set Point de un controlador remoto sobre la variable manipulada. El control por relación es parte frecuentemente del control realimentado.



Por otra parte podemos ejemplificar dos flujos A y B que entran a un tanque, (Ver figura 10) y deben ser mezclados con una relación o proporción R. Donde F_A y F_B son los flujos A y B respectivamente. La solución más sencilla, es hacer el control como se presenta en la figura 10, pero supongamos que uno de los dos flujos por ejemplo el A puede ser medible pero no regulable.



La tarea de control es un poco más difícil ya que el flujo B debe variar, como el flujo A para mantener la relación del mezclado en la proporción o relación correcta R. Por tanto las posibles soluciones se presentan en la figura 11a y b.



Del esquema mostrado en la figura 11a se tiene:

$$R = \frac{F_B}{F_A}$$

$$\frac{\partial R}{\partial F_A} = \frac{F_B}{F_A} \cdot \frac{R}{F_A}$$

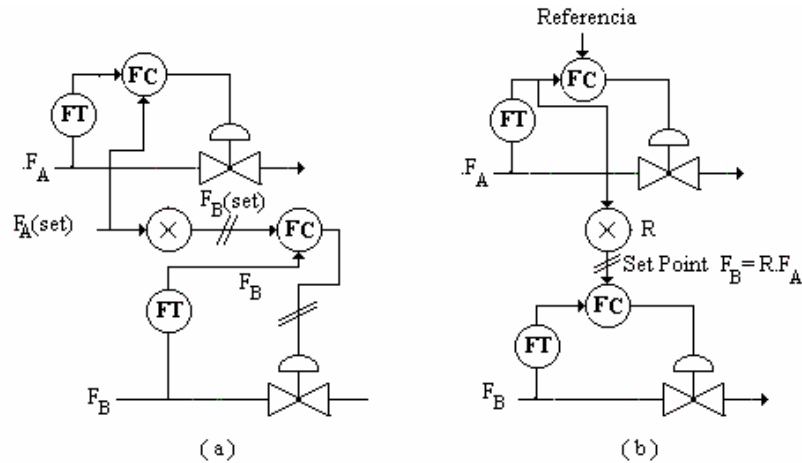
Cuando el flujo A cambia la ganancia R también cambia, se observa una no linealidad. Desde el punto de vista práctico, aun en el caso de que ambos flujos puedan ser controlados, la implementación usando control por relación es mejor.

Del esquema mostrado en la figura 11b se tiene:

$$F_B = R \cdot F_A$$

$$R = \frac{F_B}{\partial F_A}$$

Si el flujo total debe cambiarse, el operador necesita solo un cambio en uno de los flujos. Por lo tanto se presentan dos alternativas más, las cuales se presentan en la figura 12 a y b.



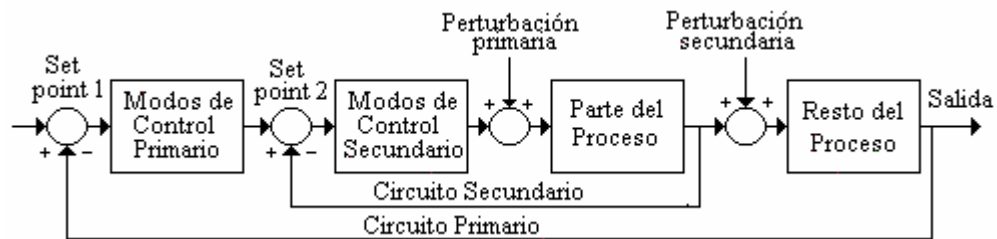
Control en Cascada

Uno de los métodos más utilizados para reducir al mínimo perturbaciones que entran en un proceso lento es el control en cascada o circuitos múltiples. El control en cascada puede acelerar también la respuesta del sistema de control, reduciendo la constante de tiempo de la función de transferencia del proceso que relaciona la variable manipulada con la salida del mismo. El control en cascada se define como la configuración donde la salida de un controlador de realimentación es el punto de ajuste para otro controlador de realimentación.

En la figura 13 se ilustra un diagrama de bloques correspondiente a un sistema de control en cascada. En lugar de ajustar el elemento de control final, por ejemplo una válvula reguladora, la salida del controlador primario es el punto de ajuste del circuito de control secundario. El circuito de control secundario que abarca sólo una porción del proceso total en un sistema de orden menor, de modo que el controlador se puede ajustar para dar una respuesta más rápida.

Por lo común, hay tres características principales presentes en el control

en cascada para que sea eficaz. La constante de tiempo del circuito cerrado del circuito secundario debe ser menor que un tercio de la constante de tiempo del circuito primario, el circuito secundario debe incluir una fuente de perturbación de proceso importante, y la variable de proceso que se regula debe ser capaz de desplazar a la variable controlada primaria a su valor deseado.



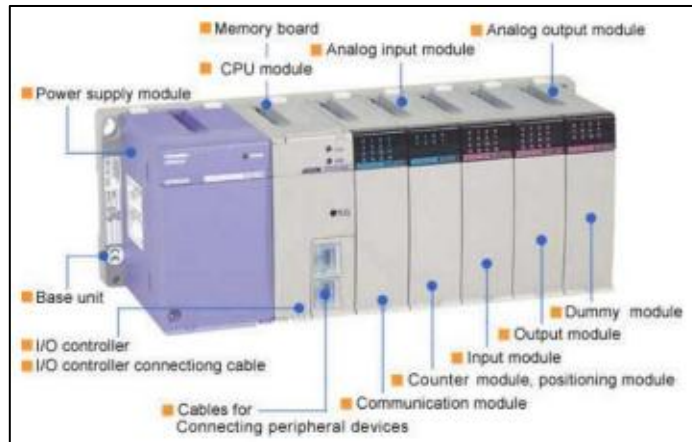
La selección de esta medida adicional, la cual está basada sobre información acerca de la perturbación más común y acerca de la respuesta dinámica del proceso, es crítica en el éxito de este tipo de control. Por lo cual, el conocimiento de la operación y la dinámica del proceso es esencial para el diseño adecuado del sistema.

2.2.3 Autómata Programable (PLC)

Un PLC (Programmable Logic Controller, por sus siglas en inglés), es un controlador electrónico robusto, altamente capacitado para trabajar en ambientes industriales. Un PLC se encarga de recolectar información a través de sensores (digitales o analógicos) y/o interruptores. Con esta información recolectada, realiza cálculos matemáticos, controles electrónicos y como resultado controla diferente tipo de hardware (salidas, actuadores) tales como válvulas, motores, bombillos, relés, servomotores etc. El proceso desde la recolección de información lo realiza en una ventana de tiempo de milisegundos.

Según Delgado, E (2017) un controlador lógico programable es lo siguiente “Los “PLC” (Programmable Logic Controllers, por sus siglas en inglés) son dispositivos electrónicos que puede programar, el proveedor que lo suministra o programadores

que laboran en su empresa y personalizará este equipo con funciones automáticas según sus necesidades de control, (Ver figura 14). Un PLC es un cerebro electrónico que acciona a otros componentes de su maquinaria para que ejecuten acciones que pudieran ser peligrosas o muy lentas al hacerlas manualmente”.



Arquitectura de un controlador lógico programable (PLC)

Estos dispositivos tienen una arquitectura de hardware muy parecida a un computador personal, sus componentes básicos son, la fuente de alimentación, unidad de procesamiento central (CPU), módulos de entrada/salida, módulos de memoria y por último la unidad de programación. A continuación se explicaran más a fondo dichos componentes.

Fuente de alimentación

La principal función de la fuente de alimentación en un controlador, es suministrar la energía eléctrica a la unidad de procesamiento central (CPU) y demás tarjetas según sea la configuración del controlador lógico programable (PLC). En los circuitos interiores de una fuente de alimentación se transforma la tensión alterna de la red de suministro eléctrico a una tensión continua, en niveles que garanticen el funcionamiento correcto del hardware del controlador lógico programable PLC.

Unidad de procesamiento central (CPU)

Como su nombre lo indica se encarga de interpretar cada una de las instrucciones que tiene programado el controlador lógico programable (PLC), este recibe las ordenes por medio de la consola de programación y el módulo de entradas y las procesa para enviar respuestas al módulo de salidas.

Módulos de entrada/salida

Son las tarjetas electrónicas que proporcionan el vínculo entre la unidad de procesamiento central (CPU) del controlador lógico programable y los dispositivos de campo del sistema. A través de ellas se origina el intercambio de información, ya sea con la finalidad de adquirir de datos, o para el mando o control de las máquinas presentes en el proceso, donde, los módulos de entrada son los encargados de recibir las señales que proceden de los sensores. La señal puede ser análoga o digital, Las señales analógicas son señales continuas (tensión, intensidad, resistencia) que pueden tomar cualquier valor, entre ciertos límites, y que serán transformados a valores digitales en función de la resolución del módulo en cuestión. Las señales digitales son señales binarias de tipo todo o nada y se utilizan en automática de eventos discretos.

Una vez que el controlador lógico programable (PLC) interpreta las órdenes que le llegan desde la unidad de procesamiento central (CPU), las descodifica y las amplifica para enviarlas a los actuadores. La señal será analógica cuando se vaya a actuar sobre algo analógico (válvula modulante, un variador de velocidad) y digital pueden ser de tres tipos, las cuales son, salida a triac (corriente alterna), salida a relé (corriente alterna o continua) o a salida a transistor (corriente continua).

Módulos de memoria

Son dispositivos electrónicos los cuales se pueden conectar en la unidad de procesamiento central (CPU), destinados a guardar información de manera provisional o permanente. Se cuentan con dos tipos de memorias, volátiles (RAM) y no volátiles (EPROM Y EEPROM), según requieran o no de energía eléctrica para la conservación de la información. La capacidad de memoria de estos módulos se

diseñan para diferentes tamaños, las más típicas son: 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 Kb, y más.

Unidad de programación

Son denominados también terminales de programación, son el medio de comunicación entre el hombre y la máquina, a través de la escritura y lectura, con estos terminales podemos realizar la modificación, monitoreo, forzado, diagnóstico y la puesta a punto de los programas guardados en los controladores lógicos programables (PLC). Estos aparatos están constituidos por un teclado y un dispositivo de visualización, donde el teclado muestra todos los símbolos (números, letras, instrucciones, entre otros) necesarios para la escritura del programa y otras acciones anteriormente señaladas. El visualizador o pantalla pone a la vista todas las instrucciones programadas o registradas en la memoria.

PLC modular

Este dispositivo tiene la característica de que todo el dispositivo viene separados en diferentes módulos, la fuente de alimentación, luego la unidad de procesamiento central (CPU), luego el módulo de entradas/salidas, todos estos módulos se ubican sobre un chasis, para que estén unidos, el PLC modular tiene la ventaja de que pueden ser configurados conforme a las necesidades ya que cada módulo esta por separado y puedes armar tu PLC según tus necesidades, continuando lo anterior explicado, Solbes, R (2013) define el PLC modular de la siguiente manera “Se dice que un PLC es modular cuando los componentes que forman el autómata programable se sitúan en módulos diferentes, los cuales se acoplan entre sí mediante conectores especiales”. A continuación (Ver la figura 15), se ilustra un modelo de PLC modular.

Con el avance tecnológico actual, los PLC son cada vez más rápidos, pequeños y robustos. Ahora tienen más almacenamiento y mayor capacidad de procesamiento, lo cual representa una ventaja enorme a la hora del manejo de datos críticos, puesto el manejo de estos se realiza de forma rápida.



Además de esta mejora sustancial en sus características, se le suma el avance en sus protocolos de comunicación, permitiendo el manejo de información crítica de manera veloz entre el controlador y el piso de la fábrica y/o el nivel administrativo de la empresa. Esto permite monitorear la operación industrial en tiempo real, obtener estadísticas que permiten contemplar la producción desde lo alto de la pirámide, para así optimizar los procesos de producción.

2.2.4 Automatización

Es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos. La automatización industrial ha efectuado un enorme progreso en las últimas décadas. Elementos de hardware cada día más potentes, la incorporación de nuevas funcionalidades, y el desarrollo de las redes de comunicación industriales, permiten realizar excelentes sistemas de Automatización Industrial en tiempos mínimos.

Según explicado anteriormente Guzmán, E (2018) define automatización como, “La Automatización Industrial es la aplicación de diferentes tecnologías para controlar y monitorear un proceso, máquina, aparato o dispositivo que por lo regular cumple funciones o tareas repetitivas, haciendo que opere automáticamente, reduciendo al mínimo la intervención humana.”

2.2.5 Interfaz Hombre Máquina (HMI)

Para la empresa austriaca COPDATA, la HMI es una interfaz entre el humano y la máquina que permite interacción con el usuario. En ISO 9241-110, la interfaz de usuario terminal se define como "todas las partes de un sistema interactivo (software o hardware) que proporcionan información y de control que es necesario para el usuario para completar una tarea determinada con el sistema interactivo." Se dice que es interactivo, ya que es una herramienta que permite la interacción del usuario con la máquina, posibilita la visualización de variables críticas y admite la manipulación de las mismas, para así poder controlar parcial o totalmente un proceso. Esta interacción visual y táctil se realiza a través de botones, señales luminosas, ingreso de información por medio de teclado alfanumérico.

Esta interfaz ha evolucionado y optimizando con el paso del tiempo. En la década de los ochenta existían interruptores y bombillas físicas, que en un proceso sencillo permitían el manejo de variables de estado del proceso, pero en un proceso complejo, hacían bastante engorroso el proceso para el operario. El objetivo de las HMI actuales, es facilitarle al usuario la maniobra de estas variables, mediante pantallas táctiles e incluso mediante la implementación de software especializado implementado en algunos sistemas operativos adecuados, para poder maniobrar el proceso desde un equipo de cómputo. Distintas áreas se dedican a la utilización de estas interfaces, por ejemplo la investigación cognitiva y la psicología, puesto que posibilitan la práctica y el desarrollo de algunas habilidades motrices y del conocimiento.

Tipos de interfaz hombre maquina (HMI)

En la actualidad existen dos tipos básicos de HMI, los cuales cumplen la misma función, la cual es permitir que el operador tenga toda la información posible del proceso supervisando, sin embargo, cada tipo de HMI varia sus características dependiendo del lugar en el cual se vaya a ubicar, a continuación se explicaran cuáles son estos tipos de HMI.

Panel View

Este dispositivo consta de un panel frontal en el cual se ubican botones y una pantalla, la cual por lo general es táctil para facilitar el uso del equipo, estos dispositivos se caracterizan porque son instalados en condiciones de trabajo hostiles, donde un simple computador no podría operar, a continuación, observamos un modelo de un HMI de Panel View, (Ver figura 16).



Computador y Software HMI

Este tipo de HMI es usado, cuando la información del proceso la queremos observar en una estación de control, donde las condiciones de trabajo son las adecuadas para que se encuentre un computador, esto es necesario, debido a que este tipo de HMI, está conformado por un software HMI el cual es instalado en un computador de uso normal, esto tiene una gran factibilidad económica, debido a que el terminal de operador, tiene un precio muy elevado, debido a sus características de resistencia a entornos hostiles. A continuación, (Ver figura 17), observamos un ejemplo de este tipo de HMI.



2.2.6 Diseño de Interfaz Gráfica

En la actualidad existen estándares que permiten guiar al diseñador para entregar el diseño de una interfaz cómoda para el usuario.

El estándar ISA101 brinda pautas respecto a convenciones y normas para el diseño de interfaces HMI. ISA101 incluye jerarquías de menú, elementos dinámicos, interfaces de objetos programa, convenciones de navegación de pantalla, convenciones de colores y gráficos convenciones de alarmas, interfaces con la programación de antecedentes y bases de datos de históricos, convenciones emergentes, pantallas de ayuda, entre otras.

La norma ISO 9241 recopila información sobre “el diseño ergonómico de programas para equipos con Pantallas de visualización de datos”. Esta enumera una serie de ideas que sirven de referencia para realizar una interfaz gráfica. Se destacan:

La aplicación debe adaptarse al nivel de capacitación de usuario

Información del proceso comprensible para el operador

La aplicación debe ser controlada por el usuario (no al revés)

La aplicación debe ser clara y sencilla de usar

Además debe cumplir las siguientes premisas:

Tener un aspecto coherente

Dar indicaciones con claridad

Ser comprensible

Ser concisa

Permitir detectar y discriminar la selección.

Esta norma también indica aspectos sobre el color de las pantallas. Dice textualmente que: “Las grandes áreas de pantalla vacías deberían rellenarse con colores neutros para no forzar la vista con contrastes excesivos.” Además aconseja:

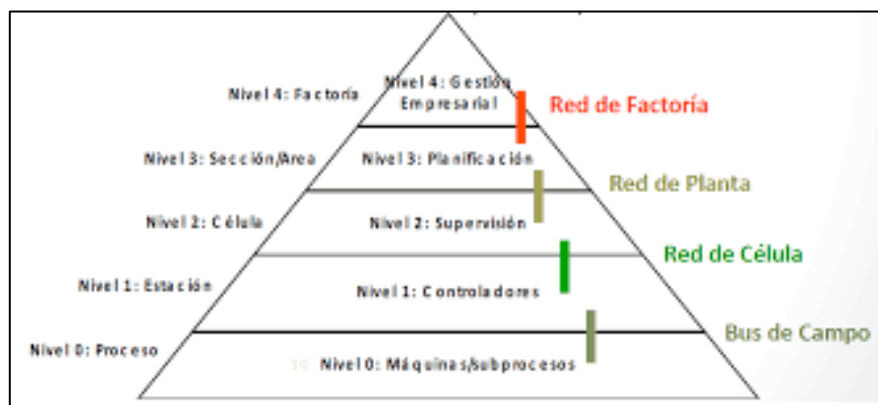
No usar combinaciones de colores de alto contraste

En una sola pantalla, no usar simultáneamente colores extremos del espectro, por ejemplo rojo y azul.

No usar más colores de los necesarios.

2.2.7 Comunicación entre PLC y HMI

A lo largo de los años, hemos visto el gran auge tecnológico, esto también estuvo presente en las industrias, lo podemos observar en la evolución de los dispositivos utilizados para llevar el control en ellas y también en el tipo de comunicación que utilizan para lograr esto, a continuación se explicaran los tres protocolos más utilizados en la industria para hacer la comunicación entre los controladores lógicos programables (PLC) y las interfaces hombre maquina (HMI) en la industria. Seguidamente se muestra los niveles de las redes de comunicación industriales, (Ver figura 18).



El controlador y el HMI de este proyecto se encuentran entre el nivel de dispositivos de campo (0) y el de control (1) como se puede evidenciar en la siguiente figura, (Ver figura 19).

Comunicación CONTROLNET

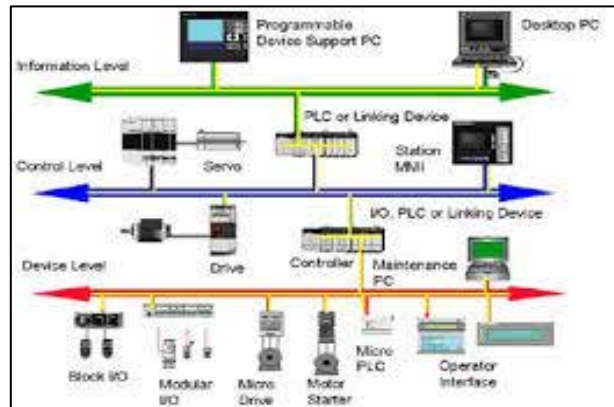
La red ControlNet™ es una red de control abierta que satisface las demandas de aplicaciones en tiempo real de alto rendimiento efectivo. ControlNet admite enclavamiento de controlador a controlador y control en tiempo real de E/S, variadores y válvulas. También proporciona conexión en red de control en aplicaciones discretas y de proceso, incluida aplicaciones de alta disponibilidad.

Comunicación DIVICENET

Es un protocolo de comunicación usado en la industria de la automatización para interconectar dispositivos de control para intercambio de datos. Éste usa Bus CAN como tecnología Backbone y define una capa de aplicación para cubrir un rango de perfiles de dispositivos. Las aplicaciones típicas incluyen dispositivos de intercambio, dispositivos de seguridad grandes redes de control con E/S.

Comunicación ETHERNET/IP

EtherNet/IP es la implantación del Protocolo Industrial Común (CIP) en Ethernet. Se trata de un protocolo industrial con entidad propia que no debe confundirse con el clásico Ethernet que se utiliza tanto en el ámbito de TI, como en el de TO. La comunicación Ethernet es un estándar de redes de computadores de área local, o sea de corta extensión.



La ventaja que muestra el Ethernet/IP respecto a las redes anteriores radica en la velocidad y la seguridad en las comunicaciones, por tanto será la utilizada para establecer las comunicación entre el controlador y la interface hombre máquina (HMI).

2.3 Definición de Términos Básicos

BTMP: Pulpa termo mecánica blanqueada de pino radiata.

Caja de entrada: Otorga una suspensión homogénea, favoreciendo una óptima formación del papel.

Calibre: El calibre es una medida del espesor de la hoja y normalmente se mide en micras. El volumen del papel es la relación entre el espesor y el peso o gramaje, es decir, el volumen es igual al calibre en micras dividido por el peso expresado en gramos por metro cuadrado.

Celulosa: Suspensión acuosa del producto resultante de la madera tratada por desintegración mecánica o tratamiento químico.

Consistencia: Se refiere a los sólidos (Celulosa y fibra sintética más rellenos o cenizas) que se adicionan en un medio liquido (Agua) para crear la mezcla básica para la manufactura de una amplia gama de productos de en el campo de manufactura de pulpas y papel.

Controlador: Instrumento que compara la variable controlada con un valor deseado y ejerce automáticamente una acción de corrección de acuerdo con la desviación.

CMP: Pulpa químico mecánica refinada.

CTMP: Pulpa químico termo mecánica refinada.

Depurador: Equipo encargado de eliminar impurezas y floculos en suspensión antes de entrar a la mesa formadora.

Fibra: Celulosa alargada, fusiforme o filiforme, mucho más larga que ancha.

Flujo Másico: Es la magnitud física que expresa la variación de la masa con respecto al tiempo en un área específica o el gasto másico de un fluido. En el Sistema Internacional se mide en unidades de kilogramos por segundo (Kg/s), mientras que en el sistema anglosajón se mide en libras por segundo (Lb/s).

Foudrinier: Mesa por donde corre la tela o malla, es parte de la mesa formadora.

Papel Tissue: Papel con un gramaje menor a 30 gramos por metro cuadrado, delgado, suave al tacto, con un tiempo de absorción de agua menor a 8 segundos en 0.01 ml de agua. Se presenta en hoja doble por entrega y se utiliza principalmente para el secado de las manos y la cara.

PM: Pulpa mecánica refinada.

Prensa: Su función es eliminar agua dejando a la hoja con una humedad homogénea.

Pulpadora: Equipo desintegrador que transforma el material fibroso en suspensión.

Secador Yankee: Su función es eliminar el resto de agua que no fue retirada por las prensas, retiro de agua por evaporación.

TMP: Pulpa termo mecánica de pino radiata.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Una vez formulado el problema, delimitado los objetivos y asumidas las bases teóricas que orientan el sentido de la investigación de manera precisa, para indicar el tipo de datos que se requiere indagar deben seleccionarse los distintos métodos y técnicas que posibiliten la obtención de información, para ello se elabora el Marco Metodológico, que según Balestrini, M (2004) “está referido al momento que alude al conjunto de procedimientos lógicos, tecnológicos, operacionales, implícitos en todo proceso de investigación”.

3.1 Tipo de investigación

Con respecto al tipo de investigación, Tamayo, M (2003) expresa sobre la investigación descriptiva “Comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre como una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente. La investigación descriptiva trabaja sobre realidades de hecho, y su característica fundamental es la de presentarnos una interpretación correcta”.

En relación con lo expresado anteriormente, se dice que la presente investigación puede calificarse como documental – descriptiva, pues constituye un estudio sistemático de investigaciones previas ya comprobadas, y a su vez, se realiza bajo el esquema de un proyecto factible, cuyo enfoque se centra en la posibilidad de llevar teorías generales al ámbito práctico, y cuyo esfuerzo se destina a la implantación de propuestas, que pueden materializarse y brindar soluciones a problemas que se plantean en la sociedad.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es el conjunto de directrices que toma el investigador con el fin de observar, analizar y plantear una solución de ser posible a la problemática objeto de la investigación. Según Palella, S y Martins, F (2012)

Definen como investigación de campo a: “La Investigación de campo consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar las variables. Estudia los fenómenos sociales en su ambiente natural. El investigador no manipula variables debido a que esto hace perder el ambiente de naturalidad en el cual se manifiesta”.

3.3 Nivel de la investigación

El nivel de investigación se refiere según Arias, F (2012) “al grado de profundidad con que se aborda un objeto o fenómeno”. Así pues, el nivel de investigación establece hasta qué punto se llevará a cabo el estudio del tema o problema planteado. Tomando en cuenta el tipo de investigación, se conocerá el nivel en el cual se basa todo el estudio. También el nivel permite saber qué factores tienen que intervenir para el desarrollo de toda la investigación.

Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto, el nivel de investigación que se emplea es proyectivo definido por Hurtado, J (2010), como:

“es el que intenta proponer soluciones a una situación determinada. Implica explorar, describir, explicar y proponer alternativas de cambio y no necesariamente ejecutar la propuesta”.

Lo mencionado por Hurtado, se aplica a todas las investigaciones que conllevan a diseños dirigidos a cubrir necesidades y que están basados en conocimientos anteriores.

3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Los instrumentos de investigación son parte fundamental de la misma ya que son los medios por los cuales el investigador puede recolectar datos sobre la problemática en la que está trabajando, teniendo esto en cuenta Sabino, C (1992) lo define como:

“Un instrumento de recolección de datos es en principio cualquier recurso de que pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. De este modo el instrumento sintetiza en si toda la labor previa de la

investigación, resume los aportes del marco teórico al seleccionar datos que corresponden a los indicadores y, por lo tanto a las variables o conceptos utilizados”.

Y por técnica se va a anotar la definición que nos da el diccionario de metodología anteriormente citado, el cual establece que las técnicas de investigación son: “Conjunto de mecanismos, medios y sistemas de dirigir, recolectar, conservar, reelaborar y transmitir los datos sobre estos conceptos”.

3.4.1. Técnicas empleadas

Revisión documental

La revisión documental es hacer una recopilación de información sobre textos e investigaciones generados por otros investigadores que tienen relación directa o indirecta con la problemática que es razón de estudio. Hurtado, J (2010) define este concepto como, “es una técnica en la cual se recurre a información escrita, ya sea bajo la toma de datos que pueden haber sido producto de mediciones hechas por otros como texto en sí mismo constituyen los eventos de estudio”.

Observación directa

La observación directa es el proceso en el cual el investigador recolecta datos directamente desde el medio ambiente del fenómeno a estudiar, por otro lado Hurtado (2010) la define como, “un proceso de atención, recopilación, selección y registro de información para el cual el investigador se apoya en sus sentidos”.

3.4.2. Instrumentos empleados

Instrumento de registro

Permite poseer un soporte de la información en periodos de tiempo relativamente largos de modo que el investigador pueda recuperar la información cuando lo necesite.

Instrumento de observación técnicamente asistida

Principalmente se contará con el empleo de algún dispositivo de medición de variables físicas de interés presentes en la realización de todas las experiencias que tenga el investigador con el fenómeno a estudiar.

3.5 Fases de la investigación

Fase I: Analizar los aspectos teóricos del proceso de fabricación de papel para obtener las variables que actúan en el sistema de preparación de pulpas.

Al estudiar los aspectos del proceso de fabricación de papel con el enfoque de las diversas disciplinas que intervienen en los procesos de diferentes plantas alrededor del mundo, brindara la información para desarrollar las tecnologías necesarias que disminuyan los costos de producción, mejoren la calidad del producto, y disminuyan la intervención humana en el proceso productivo.

Fase II: Diagnosticar el impacto económico que tiene la propuesta de automatización del control de flujo másico en los sistemas de preparación de pulpas en el proceso productivo de papel tissue.

Al conocer el impacto económico que representa el no medir y controlar las variables que intervienen la preparación de pulpas y fabricación de papel, será posible justificar la factibilidad del sistema de control propuesto al comparar el nivel de inversión que se necesita hacer en equipamiento de dispositivos electrónicos e instrumentación de proceso, con el ahorro a nivel económico al realizar la implantación de esta propuesta.

Fase III: Generar la programación de los controladores y las pantallas de interface hombre máquina (HMI) utilizados en el sistema automatizado de preparación de pulpas.

El controlador lógico programable (PLC) y la interfaz hombre máquina (HMI) son recursos de gran importancia en un proceso que maneja diferentes variables de manera simultánea, la programación de estos dispositivos es lo que hace posible controlar el proceso en su totalidad, sin que el operador de la planta intervenga en las decisiones en el manejo de la relación de materia prima necesaria para elaborar los diferentes tipos de papel. Por tanto se hace esencial que el algoritmo de programación del dispositivo sea desarrollado bajo un lenguaje robusto y compacto para aumentar la rapidez de la ejecución del ciclo autómatas del controlador. La dimensión del diseño del sistema de control distribuido (DCS), va estar relacionado con la medición y

control de las diferentes variables de proceso que intervienen en control de preparación de pulpas y la producción de papel, siendo este escalable será posible seguir integrando la instrumentación y automatizar los procesos de la máquina papelera según las necesidades futuras que se tengan en el proceso.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Fase I: Analizar los aspectos teóricos del proceso de fabricación de papel para obtener las variables que actúan en el sistema de preparación de pulpas.

Se procede a analizar el proceso de producción de papel tissue en la planta de molinos de la empresa Papeles Venezolanos, C.A con la finalidad de definir las variables de proceso que influyen en el problema planteado.

4.1.1 Observación Directa

El control de los procesos productivos que se llevan a cabo en la industria papelera para la fabricación de pulpa y papel, es fundamental para obtener un producto final que cumpla con las exigencias de calidad del cliente, manteniendo el control de consumo de materias primas, la estabilidad en los parámetros de calidad y el gramaje de la hoja en las bobinas de papel producidas. Partiendo de la necesidad de dar respuesta a la problemática abordada en el proyecto, se observó de manera directa el proceso de fabricación de papel tissue que se realiza en la máquina papelera #3 (Molino # 3) de Papeles Venezolanos C.A (PAVECA). Este se lleva a cabo cumpliendo con las siguientes etapas, (Ver anexo A): En una primera etapa llegan las pacas de materia prima al área de recepción o patio de almacenamiento, estas son clasificadas y ordenadas por los operadores de esta área de la planta según el tipo de fibra estas pueden ser: Fibra corta (Harwood), Fibra larga (Softwood), De-Inking (Destintada), Fibra de Eucalipto blanqueda (APMP) y reciclado del proceso (Broke).

Posteriormente estas fibras se vierten de manera individual o mezclada a la pulpadora del molino (Hidro-Pulper), por medio de una cinta transportadora, según las necesidades de producción de la maquina papelera, donde las fibras provenientes del material de desperdicio reciclado pasara luego por los sistemas de limpieza, para depurar la pulpa del material no deseado como lo son grapas, material plástico entre otros, continuando así el aceptado en el proceso, el resto es desechado.

Luego las pastas que se obtienen en la etapa anterior son transferidas a los tanques de almacenamiento, donde se le da un tratamiento de agitación y un control de concentración o consistencia de 4%. La pasta de fibra larga pasa por un refinador el mismo que modifica la estructura física y química de las fibras, mejorando la drenabilidad del agua en la mesa de formación y el grado de unión entre las fibras, lo que hace que el papel obtenido posea una buena resistencia a la tracción, el resto de las fibras utilizadas pasan al tanque de mezclado, donde se controla la consistencia de salida del tanque a 3,5%, con el fin de asegurar un nivel de suministro estable al tanque de máquina, donde se obtiene una pulpa con las características y propiedades físico químicas requeridas y a un nivel de consistencia de 3%, necesario para la fabricación de las bobinas de papel.

4.1.2 Revisión documental del proceso de Preparación de Pulpas

En lo que respecta a los dispositivos instalados para controlar el proceso en estudio, estos se encuentran instalados en un panel de control en la sección húmeda de la máquina papelera, (Ver figura 20).

Controlador de Nivel de los Tanques de Almacenamiento

Marca: Micromod, entradas y salidas analógicas estandarizadas 4-20 mAmp, Entradas integradas: 2, Salidas entradas: 2, tipo de controlador dedicado estándar PID. Tiene posibilidad de expansión de E/S analógicas y digitales con una disponibilidad de 11 ranuras o slot. Se utilizan cinco entradas analógicas estandarizadas 2 hilos, además de cinco salidas analógicas estandarizadas. A continuación se representan las variables de entrada manejadas por este controlador.

Tanque de Almacenamiento Fibra Larga: Rango variable controlada: 0-100%.

Tanque de Almacenamiento Fibra Corta: Rango variable controlada: 0-100%.

Tanque de Almacenamiento Fibra Destintada:

Rango variable controlada: 0-100%.

Tanque de Almacenamiento Fibra Eucalipto (APMP): Rango variable controlada: 0-100%.

Tanque de Almacenamiento Fibra Reciclada Proceso (BROKE): Rango variable controlada: 0-100%.



Controlador de Nivel del Tanque de Mezcla

Marca: Micromod, entradas y salidas analógicas estandarizadas 4-20 mA, Entradas integradas: 2, Salidas entradas: 2, tipo de controlador dedicado estándar PID. Tiene posibilidad de expansión de E/S analógicas y digitales con una disponibilidad de 11 ranuras o slot. Se utiliza una entrada analógica estandarizada 2 hilos para el transmisor de nivel del tanque de mezcla y cinco 4 hilos para los transmisores de flujo volumétrico, además de cuatro salidas analógicas estandarizadas para modular las válvulas de control de flujo.

El controlador utiliza la estrategia de control en cascada, estableciendo al nivel del tanque de mezcla como el lazo control maestro o primario y a los flujos volumétricos de entrada al tanque los secundarios o esclavos, estos últimos son controlados por la respuesta de salida del controlador primario. Inicialmente se

establece una relación entre los flujos que debe ser de 100% en forma de receta de preparación según el tipo de papel a producir. La problemática se genera al no existir un control del flujo másico de las pastas que ingresan al tanque de mezcla, por lo que el operador de la máquina se ven en la necesidad de modificar constantemente la relación de estas pastas para poder alcanzar las características de calidad de la hoja de papel bobinada a la salida de la máquina. A continuación se representan las variables de entrada manejadas por este controlador.

Nivel del Tanque de Mezcla: Rango variable controlada: 0-100%.

Flujo Fibra Corta: Rango variable controlada: 0-500 GPM.

Flujo Fibra Destintada: Rango variable controlada: 0-500 GPM.

Flujo Fibra Eucalipto (APMP): Rango variable controlada: 0-500 GPM.

Flujo Fibra Reciclada Proceso (BROKE): Rango variable controlada: 0-500 GPM.

Evidentemente el control de nivel de este tanque no cuenta con una estrategia de control avanzado que logre controlar la relación de flujo másico de cada una de las fibras que ingresan. De allí, pues se hace necesario integrar las señales de consistencia de cada una de las fibras a un En consecuencia a la Dado a que no existe un lazos de controlador no integra las señales de consistencia de cada una de las pulpas para establecer el control de flujo másico la integración del controlador de nivel del tanque con las señales de consistencias del controlador ubicado en el mismo panel, lo que facilitaría establecer y el control de gramaje de la hoja de papel que sale de la máquina papelera.

Controlador de Nivel Tanque de Máquina

Marca: Micromod, entradas y salidas analógicas estandarizadas 4-20 mAmp, Entradas integradas: 2, Salidas entradas: 2, tipo de controlador dedicado estándar PID. Tiene posibilidad de expansión de E/S analógicas y digitales con una disponibilidad de 11 ranuras o slot. Se utilizan cinco entradas analógicas

estandarizadas 2 hilos para los transmisores de consistencia, además de cinco salidas analógicas estandarizadas para modular las válvulas de dilución.

Tanque de Máquina: Rango variable controlada: 0-100%.

Controlador de Nivel Caja de Nivel Constante.

Marca: Micromod, entradas y salidas analógicas estandarizadas 4-20 mA, Entradas integradas: 2, Salidas entradas: 2, tipo de controlador dedicado estándar PID. Tiene posibilidad de expansión de E/S analógicas y digitales con una disponibilidad de 11 ranuras o slot. Se utiliza una entrada analógica estandarizada 2 hilos para el transmisor de nivel, además de una salida analógica estandarizada para modular las válvulas de control de nivel.

Caja de Nivel Constante: Rango variable controlada: 0-100%.

Controlador de Consistencias

Marca: Micromod, entradas y salidas analógicas estandarizadas 4-20 mA, Entradas integradas: 2, Salidas entradas: 2, tipo de controlador dedicado estándar PID. Tiene posibilidad de expansión de E/S analógicas y digitales con una disponibilidad de 11 ranuras o slot. Se utilizan siete entradas analógicas estandarizadas 2 hilos para los transmisores de consistencia, además de siete salidas analógicas estandarizadas para modular las válvulas de dilución.

Tanque de Almacenamiento Fibra Larga: Rango variable controlada: 2-5%.

Tanque de Almacenamiento Fibra Corta: Rango variable controlada: 2-5%.

Tanque de Almacenamiento Fibra Destinta: Rango variable controlada: 2-5%.

Tanque de Almacenamiento Fibra Eucalipto (APMP): Rango variable controlada: 2-5%.

Tanque de Almacenamiento Fibra Reciclada Proceso (BROKE): Rango variable controlada: 2-5%.

Tanque de Mezcla: Rango variable controlada: 3-5%.

Tanque de Máquina: Rango variable controlada: 2-4%.

Todos los controladores antes mencionados, se encuentran dispuestos en un panel de control ubicado en el área húmeda de la maquina papelera, (Ver figura 21).



Es necesario analizar los aspectos teóricos del proceso de fabricación de papel para obtener las variables de control necesarias para obtener un sistema de preparación de pulpas robusto y eficiente, por lo que en la realización de este trabajo de investigación se abordan las áreas de control de relación de flujo másico en los procesos de dosificación y mezclado de fibras, siendo un factor de suma importancia la medición y control de la variación de consistencia que pudieran tener lugar en la dinámica de proceso de elaboración de papel. Partiendo de este punto se puede deducir que para lograr un control real de la proporción de las fibras utilizadas en el proceso, es necesario controlar el flujo másico de los flujos de entrada al tanque de mezcla, por lo que será de vital importancia considerar las variaciones de consistencia o concentración de las fibra en cada uno de los flujos de entrada.

Debido a lo antes expuesto se procedió a observar de manera directa la materia prima utilizada en el proceso, por lo que se puede deducir que la pulpa es una mezcla de fibras en el agua, donde las fibras forman una red con una gama de materias primas (por ejemplo, madera, fibras no madereras, papel reciclado, etc.), por lo que la longitud y las características de las fibras pueden variar de manera inmensa en los procesos de producción de pulpa y papel. Es posible optimizar los distintos parámetros, con el fin de conseguir las propiedades de diferencia requeridas en el resultado final; es decir, una hoja de papel, cartón, entre otros.

Sin embargo, no es una tarea sencilla medir continuamente la consistencia de la pulpa, ya que la muestra que se va a medir puede revelar muchas propiedades y composiciones diferentes que difieren de caso a caso; como lo son longitud de las fibras, la unión entre las fibras individuales en la red de fibra, la apariencia y el color de las fibras. La longitud de la fibra se ve afectada por factores como la materia prima, proceso (mecánico, químico, CTMP o combinaciones) y tratamiento (refinación, filtración, fraccionamiento, etc.). Además la velocidad de flujo, la temperatura y el pH de la pulpa, así como la adición de varios productos químicos, son ejemplos de factores que afectan directamente a la unión entre las fibras.

Por otra parte los finos (fraccionamiento fino de la fibra) siempre están presentes, y se consideran como parte de la consistencia de la fibra. Una suspensión de pulpa contiene una proporción mayor o menor de finos, generalmente definidas como fibras que son más cortas que 0,07 mm. La pulpa Kraft de fibras largas generalmente contiene menos finos, pero las proporciones aumentan a medida que la pulpa se refina. Si el papel normal es reciclado en el proceso de fabricación de papel en caso de rotura de la hoja en el proceso de bobinado, el color del recubrimiento también afectará a la consistencia.

En este contexto, el recubrimiento y el relleno tienen propiedades similares. Todas estas partes juntas conforman la consistencia general, que se define sólo a través de la medición de la muestra en el laboratorio y su resultado no se ve afectado en teoría por los cambios en las propiedades de la fibra.

Homogeneidad

En la práctica, sin embargo, no es tan simple. A diferencia de una solución de azúcar totalmente disuelto, donde es posible extraer una pequeña pero representativa muestra de la solución total, la pulpa de papel no es una suspensión homogénea. Con la pulpa, es difícil tener una suspensión totalmente homogénea en las consistencias normales. Cuanto mayor sea la consistencia, mayor será la dificultad de lograrlo, por lo que es necesario diluir a 0,2-0,4% en pulpa química de fibra larga, y 0,5-0,9% en pulpa de madera mecánica, antes de lograr lo que se conoce como niveles de consistencia de sedimento en la caja de la cabeza de la máquina papelera.

En las consistencias por encima del nivel de sedimento, las fibras ya no se suspenden libremente en la misma solución, produciéndose el enlace entre fibras individuales por lo que se origina la formación de una red.

Flujo

Aunque el problema con esta red es que la fuerza y la estabilidad están completamente formadas en condiciones estables, pero se pierden completamente en caso de un tratamiento mecánico sustancial. Por lo que la pulpa de papel es una solución "pseudo-plástica". Este procesamiento puede ocurrir en una bomba de pasta, pero también en una curva de tubería o una válvula. La red se rompe parcialmente y las fibras más pesadas o copos de fibra tienden a ser arrojado hacia el exterior de la curva de la tubería; por lo que se produce un incremento de la consistencia, siendo mayor que en la esquina interior de la misma curva.

En este contexto, debemos tocar la ciencia del flujo. El flujo turbulento y el flujo de tapón, y las combinaciones de los dos, ya que pueden ocurrir al mismo tiempo. El flujo laminar también puede ocurrir, pero sólo cuando la velocidad de flujo y la consistencia son muy bajas, por lo que podemos excluirla.

Las tecnologías de medición de consistencia

Actualmente no hay ningún método práctico que se pueda utilizar para el control de consistencia normal, donde se mide la consistencia real de la pulpa. Adicionalmente hay que tener en cuenta la importante diferencia entre la consistencia

de la fibra y la consistencia total. La consistencia de la fibra significa la proporción de fibras en una cantidad o agua específica, mientras que la consistencia total incluye todos los sólidos suspendidos (fibras, rellenos, etc.). Los principios de medición en línea, disponibles en el mercado miden primariamente la consistencia de la fibra, y otros la proporción de relleno. Muy pocos miden la consistencia total, sólo el método Peak lo hace con suficiente precisión en condiciones inestables y variables.

A continuación se presenta las principales tecnologías de medición de consistencia utilizadas actualmente para la medición en línea

Medición de fuerza de cizallamiento:

Transmisores de cuchillas: transmisores de cuchillas estáticas, transmisores de cuchillas activos.

Transmisores giratorios: transmisores de viscosidad rotatorios, transmisores de fuerza cortante giratoria.

Balance de Masa

Cabe considerar los aspectos teóricos anteriores como parte importante al tener en cuenta para realizar la automatización de la dosificación y mezclado de fibras, lo que redundaría en un balance de masa de la materia prima que entra al tanque de mezcla con lo que sale del proceso como bobina de papel, y así poder obtener un sistema estable en régimen permanente. El balance de masa se refiere al conteo de los flujos másicos de todas las corrientes (entradas y salidas) que conforman un proceso o partes de este. Se realiza mediante la aplicación de la Ley de conservación de masa que dice: “La materia no se crea ni se destruye”. El sistema sobre el cual se va aplicar el balance debe ser primeramente delimitado a fin de conocer sus fronteras. (Felder y Rousseau, 2004: p.85)

Tipos de Balance

Existen dos tipos:

Balance Diferencial. Estos balances indican lo que sucede en el sistema en un tiempo determinado, cada corriente se expresa en unidades de masa sobre

unidades de tiempo. Son aplicables en procesos continuos. (Felder y Rousseau, 2004: p.90).

Balance Integral.- Indican lo que se sucede en dos instantes de tiempo, cada corriente se expresan en unidades de masa. Son aplicables en sistemas tipo batch o por lotes (Felder y Rousseau, 2004: p.91).

En atención a la necesidad que se desprende en la dependencia de la intervención humana, la obsolescencia de equipos y la carencia de estrategias de control de procesos avanzadas, es necesario analizar los aspectos económicos del proceso de fabricación de papel que aseguren un nivel de producción alto con un menor nivel porcentaje de rechazo a menor costo de producción que radica en el incremento de los estándares de calidad e incremento de ganancias de la organización.

4.2 Fase II: Diagnosticar el impacto económico que tiene la propuesta de automatización del control de flujo másico en los sistemas de preparación de pulpas en el proceso productivo de papel tissue.

Los estudios de impacto económico sirven para medir la repercusión y los beneficios de inversiones en infraestructuras, así como de cualquier otra actividad susceptible de generar un impacto socioeconómico. En un contexto de crisis y recursos económicos limitados, resulta cada vez más importante para las Administraciones de empresas de manufactura el considerar los retornos de sus inversiones y centrarse en aquellos proyectos o actividades que generan un mayor beneficio para la organización, ya que proporcionan información cuantitativa y cualitativa sobre los impactos en la producción, además de permitir el justificar las decisiones de inversión frente a la presidencia de la organización.

Es por esto que para cumplir con el objetivo general del presente proyecto se optó por revisar los manuales de operación disponibles en la planta de Papeles Venezolanos, C.A, y así conocer cuáles son las concentraciones de materia prima que se debe manejar en cada equipo, ya que actualmente se trabaja de forma poco normalizada y empírica, y así asentar las bases para el diagnóstico del impacto

económico en el proceso productivo que tiene la problemática que se pretende dar solución.

Condiciones de Operación del Sistema de preparación de Pulpas

En la actualidad la máquina papelera #3 (Molino #3) de Papeles Venezolanos C.A, opera las 24 horas del día los 7 días de la semana manteniendo horarios rotativos entre los trabajadores, con la finalidad de cumplir con la demanda de pedidos requeridos por sus clientes. Por lo general produce en promedio diario de 40 toneladas métricas de papel (40.000 Kg/D), dicho valor varía por problemas mecánicos en los equipos, baja integración de equipos de control, alta dependencia de la intervención humana y rechazos del producto obtenido por mala calidad.

Dependiendo del producto que se quiera producir, la empresa utiliza la formulación de la materia prima en forma de receta, utilizando la fibra corta (Harwood), fibra larga (Softwood), De-Inking (Destintada), Fibra de Eucalipto blanqueda (APMP) y reciclado del proceso (Broke), en la siguiente tabla se especifica la formulación de la materia prima que se utiliza para la elaboración de papel tissue, (Ver tabla 4.2-1). Sin embargo estos parámetros no se cumplen en su totalidad, ya que los operarios encargados vierten cantidades y porcentajes estimados de cada tipo de papel en la banda transportadora de la pulpadora o hidro-pulper.

Esto sucede debido a que las pacas de papel no vienen con un peso fijo si no que varían dependiendo del proveedor, a continuación se detalla los pesos que estas contienen, (Ver tabla 4.2-2).

MATERIA PRIMA	COMPOSICIÓN (%)	HUMEDAD PERMITIDA (%)
Fibra Corta	10	10
Fibra Larga	30	
Fibra Destintada	30	
Fibra APMP	30	
Broke	-	

MATERIA PRIMA	PESO(TON)
Fibra Corta	1080-1180
Fibra Larga	400-450
Fibra Destintada	450-500
Fibra APMP	450-500
Broke	Reciclado de la máquina

Adicionalmente cuando se vierten las pacas al Hidro-Pulper que tiene una capacidad aproximada de 24 m³, es llenado con agua hasta el 50% de su capacidad; para luego por medio del transportador colocar dentro a la materia prima. Las cantidades son arbitrarias ya que no se puede calcular con exactitud la cantidad que ingresa al Pulper debido a que el transportador se carga completamente con las pacas desarmadas y se arroja poco a poco hasta la cantidad que el operador considere apropiada, generalmente el peso varía entre 2000-3000 Kg; el agua que se utiliza para realizar la pasta de papel proviene de un tanque que almacena agua blanca proveniente del drenado en la etapa de formación del papel. El tiempo para el desfibrado no está establecido, los operarios utilizan entre 12-18 minutos para realizar dicha operación.

Por otra parte el trabajo que realizan los operadores de la máquina papelera es algo empírico y sin ningún tipo de especificación a seguir en lo que la preparación de pasta se refiere, ya que la máquina cuenta con controladores dedicados que no logran controlar el flujo másico de las fibras que ingresan al tanque de mezcla y de allí a la línea de producción. Los operarios por ser personas con experiencia en su área logran realizar su trabajo sin problemas, más sin embargo eso no los exime que en ocasiones se presenten situaciones que ellos no puedan controlar debido a su falta de conocimientos. Se siguió un proceso de muestreo de consistencias por 10 días

operando bajo las condiciones ya expuestas anteriormente, tomando 2 muestras diarias que fueron llevadas al laboratorio de control de calidad para obtener sus resultados, (Ver tabla 4.2-3).

Equipos	Consistencia de Trabajo (%)
Hidro-Pulper (Desfibrado)	3,2 - 6
Hidro-Pulper (Descarga)	3,2 - 6
Tanque Almacén Fibra Corta	3,80 - 4,10
Tanque Almacén Fibra Larga	3,89 - 4,10
Tanque Almacén Fibra Destintada	3,90 - 4,30
Tanque Almacén Fibra APMP	3,98 - 4,20
Refinador 1	3,89 - 4,30
Tanque Mezcla	3,45 - 3,5
Tanque de Máquina	3,20 - 3,22
Refinador 2	2,96 - 3,01
Caja de Entrada	0,15 - 0,16

4.2-3

Los datos obtenidos en diez días de operación del proceso, se compararon con los parámetros establecidos en los manuales de operación de los equipos y bibliografía externa previamente consultada, (Ver tabla 4.2-4). Donde se evidencio la variabilidad que existe en la consistencia de la pasta en la salida de cada equipo. Esto conlleva a que en el proceso productivo se tenga una pérdida de fibra útil de hasta el 20% ocasionando grandes pérdidas económicas a la empresa.

Debido a que no se podía acceder a la salida de rechazos de los equipos de limpieza y depuración se optó por buscar información sobre la tasa de rechazos de los mismos, ya sea en los manuales de los equipos o información externa como proyectos de investigación similares, para así certificar la información, (Ver tabla 4.2-5).

Equipos	Consistencia de Trabajo (%)
Hidro-Pulper (Desfibrado)	5
Hidro-Pulper (Descarga)	4,5
Tanque Almacén Fibra Larga	4,00
Tanque Almacén Fibra Corta	4,00
Tanque Almacén Fibra Destintada	4,00
Tanque Almacén Fibra APMP	4,00
Refinador 1	3,90
Tanque Mezcla	3,5
Tanque de Máquina	3,2
Refinador 2	3,00
Caja de Entrada	0,16

4.2-4

EQUIPO	(%) RECHAZO
Pera de Limpieza	1,5
Celda de Flotación	1,42
Depurador Screen (Pantalla)	4

4.2-5

Para los cálculos de ingeniería se utilizaron los datos provenientes de los reportes que hace el personal que labora en la máquina durante un periodo de 10 días, en sus tres turnos. La cantidad de materia prima que la empresa utilizó por día (TON/D), se puede apreciar en la siguiente tabla, (Ver tabla 4.2-6).

n	Consumo Materia Prima (TON/D)	Objetivo %Merma del Proceso	Objetivo Matéria Prima (TON/D)	Producción (TON/D)	% Eficiencia
1	56,357136	12	49,59427968	39,16	78,96071937
2	55,158048	12	48,53908224	40,48	73,38910906
3	55,580454	12	48,91079952	38	68,36935877
4	55,32156	12	48,6829728	40	72,30454094
5	56,61603	12	49,8221064	38,92	68,74378158
6	59,777262	12	52,60399056	45,06	75,37983255
7	56,07099	12	49,3424712	44,52	79,39934715
8	54,394992	12	47,86759296	38	69,85937235
9	55,485072	12	48,82686336	41	73,8937493
10	56,575152	12	49,78613376	40,88	72,25787038
Promedio	56,1336696	12	49,3976292	40,602	73,2557681

4.2-6

Cabe destacar que los datos de la materia prima que ingreso a la pulpadora se tomaron de los reportes que hacen los operadores del equipo, en el mismo periodo de tiempo con las que se tomaron los datos anteriores, (Ver Tabla 4.2-7). Finalmente se solicitó el precio de la tonelada de las diferentes materias utilizadas en el proceso, (Ver tabla 4.2-8), así como el del papel producido, (Ver tabla 4.2-9), para proceder con el estudio de impacto económico.

Ya obtenidos los datos anteriores se procedió a realizar el cálculo del objetivo de materia prima necesaria para producir el papel tissue, tomando como referencia la receta de formulación de la tabla 4.2-1. Por lo que para obtener una eficiencia en la

máquina de 88%, se necesita una dosificación de fibras como se muestra en la siguiente tabla, (Ver tabla 4.2-10).

n	Fibra Corta (TON/D)	Fibra Larga (TON/D)	Fibra Destintada (TON/D)	Fibra APMP (TON/D)	Promedio (TON/D)
1	5,17788	17,250516	17,16876	16,75998	56,357136
2	5,695668	15,94242	17,57754	15,94242	55,158048
3	5,38227	16,269444	16,75998	17,16876	55,580454
4	5,4504	16,3512	16,75998	16,75998	55,32156
5	5,72292	16,96437	15,94242	17,98632	56,61603
6	5,613912	18,19071	16,75998	19,21266	59,777262
7	5,300514	16,024176	17,16876	17,57754	56,07099
8	5,423148	16,269444	16,3512	16,3512	54,394992
9	5,613912	16,75998	16,75998	16,3512	55,485072
10	5,886432	17,98632	15,53364	17,16876	56,575152
Promedio	5,5267056	16,800858	16,678224	17,127882	56,1336696

4.2-7

MATERIA PRIMA	COSTO TON (US\$)
Fibra Corta	196
Fibra Larga	182
Fibra Destintada	50
Fibra APMP	47

4.2-8

Parámetro	Valor (US\$/TON)
Precio de Papel Tissue	1418

4.2-9 P

Fibra Corta (TON/D)	Fibra Larga (TON/D)	Fibra Destintada (TON/D)	Fibra APMP (TON/D)	Promedio (TON/D)
5,4504	16,3512	16,3512	16,3512	54,504
5,4504	16,3512	16,3512	16,3512	54,504
5,4504	16,3512	16,3512	16,3512	54,504
5,4504	16,3512	16,3512	16,3512	54,504
5,4504	16,3512	16,3512	16,3512	54,504
5,4504	16,3512	16,3512	16,3512	54,504
5,4504	16,3512	16,3512	16,3512	54,504
5,4504	16,3512	16,3512	16,3512	54,504
5,4504	16,3512	16,3512	16,3512	54,504
5,4504	16,3512	16,3512	16,3512	54,504
5,4504	16,3512	16,3512	16,3512	54,504

4.2-10 Dosificación de fibras para la máxima rata de producción

Seguidamente se procedió al cálculo de pérdidas por mala formulación de las pulpas obtenidas en el tanque de mezcla de la máquina, originado por la falta de control de relación de flujos máxicos que ingresan al tanque de mezcla. Estos trabajan en cascada con el lazo de control de nivel del tanque para mantener el balance de masa del sistema y un régimen permanente de preparación de pulpas y fabricación de papel en la máquina papelera. Los resultados pueden evidenciarse en la siguiente tabla, (Ver tabla 4.2-11).

Después de haber obtenido el valor de perdida con relación al promedio de materia prima expresado en toneladas métricas, se procede a realizar el análisis de perdidas,(Ver tabla 4.2-12), que luego podrá ser utilizado como indicador del análisis de costo-beneficio al estudiar la factibilidad de la implantación de la propuesta de automatización.

n	Consumo Fibra Corta (TON/D) Vs Objetivo	Consumo Fibra Larga (TON/D) Vs Objetivo	Consumo Fibra Destintada (TON/D) Vs Objetivo	Consumo Fibra apmp (TON/D) Vs Objetivo	Promedio Perdida Materia Prima (TON/D)
1	-0,27252	0,899316	0,81756	0,40878	1,853136
2	0,245268	-0,40878	1,22634	-0,40878	0,654048
3	-0,06813	-0,081756	0,40878	0,81756	1,076454
4	0	0	0,40878	0,40878	0,81756
5	0,27252	0,61317	-0,40878	1,63512	2,11203
6	0,163512	0,40878	1,83951	2,86146	5,273262
7	-0,149886	-0,327024	0,81756	1,22634	1,56699
8	-0,027252	-0,081756	0	0	-0,109008
9	0,163512	0,40878	0,40878	0	0,981072
10	0,436032	1,63512	-0,81756	0,81756	2,071152
Promedio	0,0763056	0,306585	0,470097	0,776682	1,62967

4.2-11 Perdidas por falta de control de relación de flujos másicos

PARAMETRO	CANTIDAD	VALOR
Perdida de Materia Prima	1,62967	TON/D
Perdida Diaria	2310,87206	US \$
Perdida Mensual	69326,1618	US \$

Diagnostico pérdidas por mala dosificación en la preparación de pulpas

4.2.1 Diagnostico Impacto Económico

Se realizó un proceso de solicitud de cotizaciones a las empresas del ramo de la automatización y representante exclusivo de Rockwell Automation en Venezuela para

conocer el costo de implantación de sistema de control propuesto en la planta de Papeles Venezolanos C.A, (Ver tabla 4.2-13).

ITEM	MATERIALES Y RECURSOS	MODELO	Cantidad	Costo Unitario US \$	Costo US \$
1	Fuente de Poder 35-230 Vac (5V @10Amp)	1756-PA72	2	3457	6914
2	Back Plane 10 Slot	1756-A10	2	2336	4672
3	Controlador Logix 5000. Serie L73	1756-L73	1	21185	21185
4	Módulo de Comunicación Ethernet	1756-EN2T	1	10914	10914
5	Módulo de Comunicación Control-Net	1756-SDN	2	8560	17120
6	Entradas Analógica 16PTS. Corriente/Voltaje	1756-IF16	2	5883	11766
7	Salidas Analógica. Corriente/Voltaje 8PTS	1756OF8	3	7590	22770
8	79-132 Vac Entradas Digitales Aisladas 16PTS	1756-IA-16I	1	2212	2212
9	N.O Salidas a Rele Aisladas 16 PTS	1756-OW-16I	2	2374	4748
10	Switch Industrial Stratix 2000 de 5 Puertos	1783-USO5T	1	882	882
11	Computador HP con procesador i7. 8 GB de memoria Ram, 1TB	PC-HP	1	5800	5800
12	Paquete de Software Studio 5000. Rockweell Automation	Studio 5000	1	4520	4520
13	Paquete de Software Factory Talk View Studio	FT-View	1	3920	3920
14	Paquete de Licencia Fisica. Tipo Dongle	Rockwell Licenses	1	8900	8900
15	Bulk de Cables 16 Pares trensados. 18 AWG	PVC-BELDEN	50	35	1750
16	Cable Ethernet RJ45	Ethernet-CBL	50	12	600
17	Conductor Unifilar +Conectores y derivacion Controlnet	ControlNet-CBL	50	29	1450
18	Desarrollo de Ingeniería e Integración	Horas Ingeniería	190	80	15200
TOTAL					145323 US\$

Diagnóstico costo de implantación de Propuesta

Partiendo de que la organización establece un margen operacional del 20% aplicable a la implantación de proyectos de inversión, este será utilizado en los cálculos de costo-beneficio como el ahorro por concepto de recuperación de fibra útil al implantar del sistema propuesto. Finalmente puede deducirse que al ejecutar la implantación de la propuesta de automatización, se tendrá un tiempo de retorno de inversión de 10,48 meses de operaciones de la máquina papelera con una eficiencia de producción de 80 % y una rata de producción promedio de 54,5 toneladas de papel por día, aumentando así las ganancias por tonelada de papel producida, (Ver tabla 4.2-14).

PARAMETRO	CANTIDAD	VALOR
Costo de Implantación de Propuesta (Inversión Inicial)	145323	US \$
Ahorro Neto Mensual	69.326,1618	US \$
Autofinanciación del Proyecto	20	%
Retorno de Inversión	10,48	Meses

Diagnóstico Costo- Beneficio de la propuesta

La propuesta queda en modo escalable para ir integrando el resto de los sistemas de control del proceso productivo, lo que le da la relevancia de proyecto factible a esta propuesta de automatización.

4.3 Fase III: Generar la programación de los controladores y las pantallas de interface Hombre Máquina (HMI) utilizados en el sistema automatizado de preparación de pulpas.

La programación, es la acción de ordenar y estructurar una serie acciones de forma cronológica para cumplir un objetivo, en el caso de un proyecto de automatización, la programación es en la cargada de controlar todos los procesos que requieran del sistema. Para realizar esto existen una gran variedad de lenguajes de programación, sin embargo, debido a su simplicidad para entender e interpretar sus

instrucciones, el lenguaje de programación más utilizado para realizar la acción de automatizar un proceso es Ladder, también llamado diagrama de escalera o diagrama de contactos, este lenguaje de programación gráfico es muy popular dentro de los autómatas programables debido a que está basado en los esquemas eléctricos de control clásicos. De este modo, con los conocimientos que todo técnico o ingeniero eléctrico posee, es muy fácil adaptarse a la programación en este tipo de lenguaje.

Adicionalmente se utilizó el lenguaje de diagrama de bloques de función para facilitar el tratamiento de las señales analógicas y el control de procesos, (Ver anexos B, C, D y E). En cuanto a la realización de la programación un sistema de gran envergadura que posee gran cantidad de procesos a realizar y un número elevado de variables que se necesitan controlar, es recomendable hacer una lista con todas las variables a utilizar y a su vez asignarle su dirección de entrada, de marca, o de salida antes de iniciar el desarrollo del algoritmo de programación, esto facilita la tarea a la hora de realizar la programación, también es viable hacer un bosquejo del programa a realizar en papel, así al momento de programar en el software, por lo que se tiene un idea de más clara de cómo ha de realizarse la programación.

En relación a la programación de las pantallas de interface hombre máquina se utilizó el software Factory Talk View Site Edition para crear dos pantallas que facilitarían el monitoreo y control de preparación de pulpas de la máquina papelera, llamadas preparación de pulpas y Refinación, (Ver anexo F y G).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

A continuación, se presentan las conclusiones más resaltantes del estudio realizado, así como las recomendaciones para futuras investigaciones, con el propósito de avanzar en el diseño del sistema de control automatizado para el proceso de preparación de pulpa de papel en la empresa Papeles Venezolanos C.A.

El sistema planteado en este proyecto de investigación ofrece un sistema más eficiente para realizar los procesos de mezclado de fibras y elaboración de bobinas en la máquina papelera.

Se utilizó un controlador lógico programable que cumple con las necesidades del proyecto desarrollado, gracias a los diferentes dispositivos que conforman toda la familia de controladores Logix 5000 de Rockwell.

Si se implementa el sistema automatizado, presentado en este trabajo de investigación los costos de producción y la calidad de la hoja de papel bobinada aumentará, debido al ahorro de materia prima, la disminución de rechazos de bobinas de papel y el aumento de producción gracias a la eliminación de la dependencia de la intervención humana.

La implantación del sistema aumentara el uso de fibra útil en 1,92 toneladas por día lo que representa un ahorro en materias primas de US\$ 69.326 al mes.

La inversión inicial para la implementación del sistema de control propuesto está en un orden de US\$145323 dando un retorno de inversión de 10,48 meses.

5.2 Recomendaciones

La principal recomendación es la implementación del sistema propuesto en el presente trabajo de investigación, ya que esto aumentaría las ganancias a la organización.

Integrar de manera programada el resto de los sistemas de control de la máquina que se encuentran manejados por controladores dedicados, como por ejemplo el sistema de control de velocidad tanto de los motores de corriente alterna como los de corriente directa.

Realizar la integración del sistema de control de desintegración que se realiza en el hidro-pulper con la instalación de un Panel View plus 1500 de la misma marca Rockwell Automation, y así contabilizar y procesar las fibras tal como está expresado en los manuales del equipo de manera automática automáticamente la materia prima que ingresa al proceso. Además de integrarlo al sistema de control de la máquina

Controlar la cantidad de agua que ingresa al pulper mediante la instalación de: medidores de consistencia, caudalímetros o sensores de caudal.

Integrar la administración del mantenimiento correctivo y programado de los dispositivos de campo, tales válvulas de control, variadores de frecuencia, transmisores de variables de proceso, entre otros, realizando una red de campo con la instalación de módulos de comunicación de campo de la misma marca Rockwell Automation.

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (2012). **El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica.** Caracas; Editorial Episteme.
- Balestrini, M (2004). **Como se elabora el proyecto de investigación.** Caracas, Venezuela.
- Hurtado, J. (2010). **Metodología de la investigación.** Caracas, Editorial Quirón.
- Mijares, H. y García, L. (2007) **Manual de Investigación para trabajo especial de grado de la UJAP.** San Diego. Editorial UJAP
- Palella, S y Martins, F (2012). **Metodología de la investigación cuantitativa.** Caracas, Venezuela.
- Sabino, C (1992). **El proceso de investigación.** Editorial Panapo. Caracas, Venezuela.
- Tamayo, M (2003). **El proceso de investigación científica.** Editorial Limusa, Mexico.
- Jonh. W (2001). **Standard Testing Methods for consistency of stocks.** New York, Estados Unidos de Norte America

ELECTRÓNICAS

- Aguilera, P (2002). **Programación de plc's:**
<http://eprints.uanl.mx/919/1/1020148252.PD>
- Mogrovego, Diego (2017). **Diseño e Implantación de un Sistema de Cuatro Tanques interconectados con control PID Robusto Multivariable:**
<https://universidadpolitécnicasaleciana.com>
- Álvarez, R, Calderón, N (2015). **Diseño, construcción y pruebas de un prototipo automatizado para dosificación y mezclado de 4 componentes, tres de ellos a granel y uno líquido obteniendo como mezcla hasta 15kg/h para el**

**laboratorio de automatización industrial, implementado por la tecnología
rockwell automation:**

https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1604/digital_21640.pdf?sequence=1

Arenas, L, Castilla, A y Rojas, D (2012) **Interfaz Hombre Maquina:**
<https://es.scribd.com/doc/85749234/Interfaz-Hombre-Maquina-HMI>

Delgado, E. (2017) **Que es un controlador lógico programable:**
<https://intrave.com/que-es-y-para-que-sirve-un-plc/>

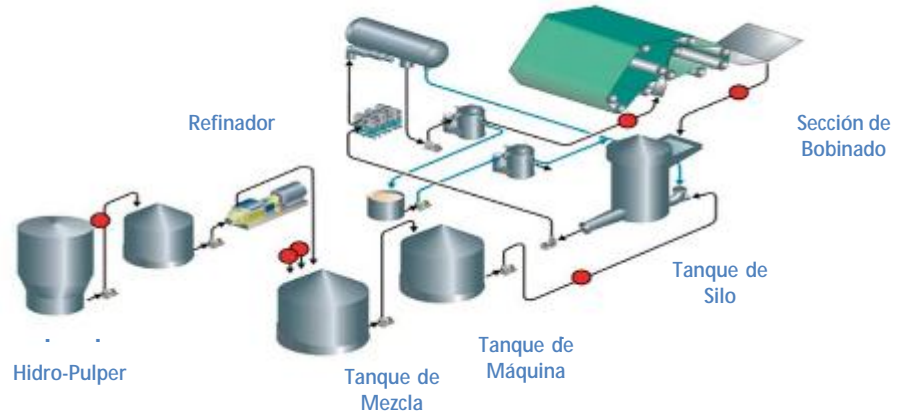
Guzmán, E. (2018) **Que es automatización:** <http://www.milenio.com/opinion/varios-autores/universidad-politecnica-de-tulancingo/la-automatizacion-industrial-en-la-empresa-competitiva>

Rivas, J. (2018) **Lógica cableada y lógica programada:**
<https://dissenyproducte.blogspot.com/2010/12/logica-cableada-y-logica-programada.htm>.

<https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une/?c=N0050654>. ISO 536:2013. Determinación del gramaje del papel y cartón.

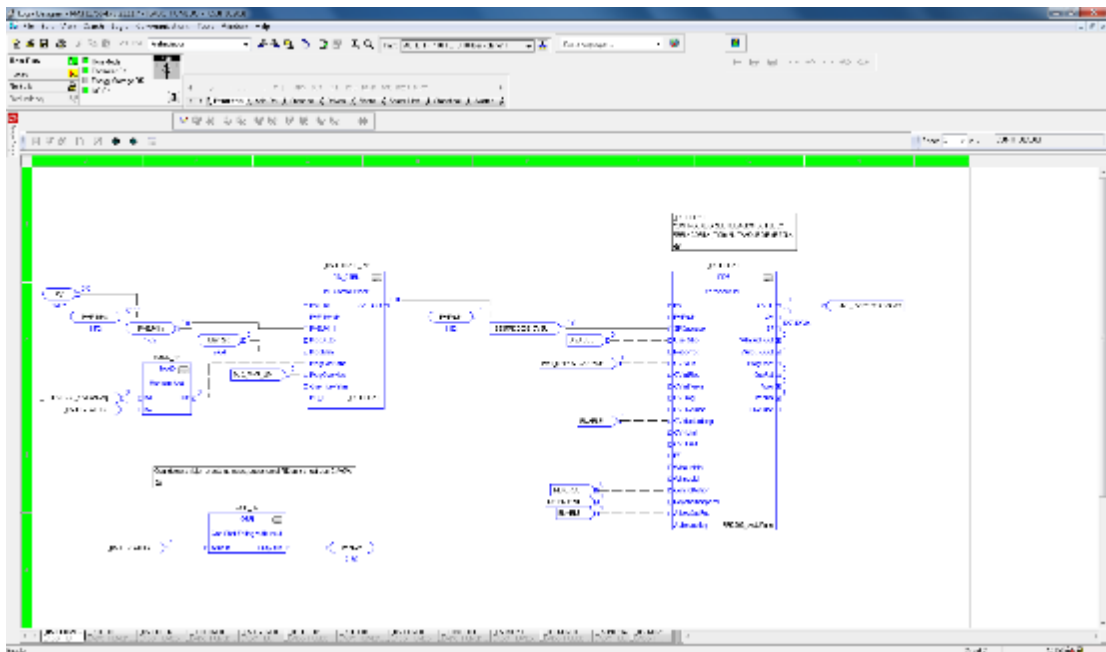
ANEXO A

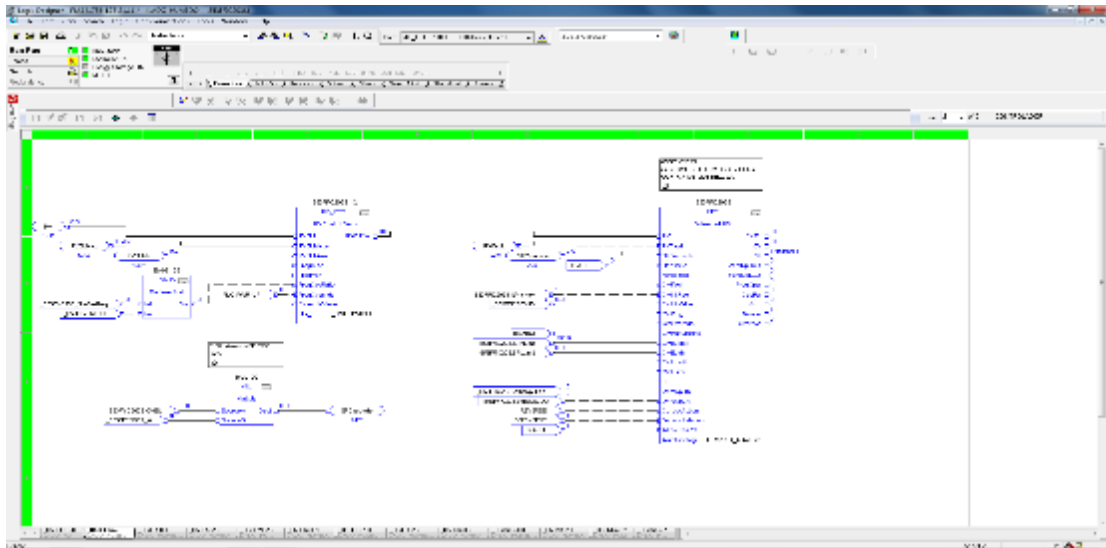
Diagrama de Proceso de Fabricación de Papel en máquina Papelera



ANEXO B

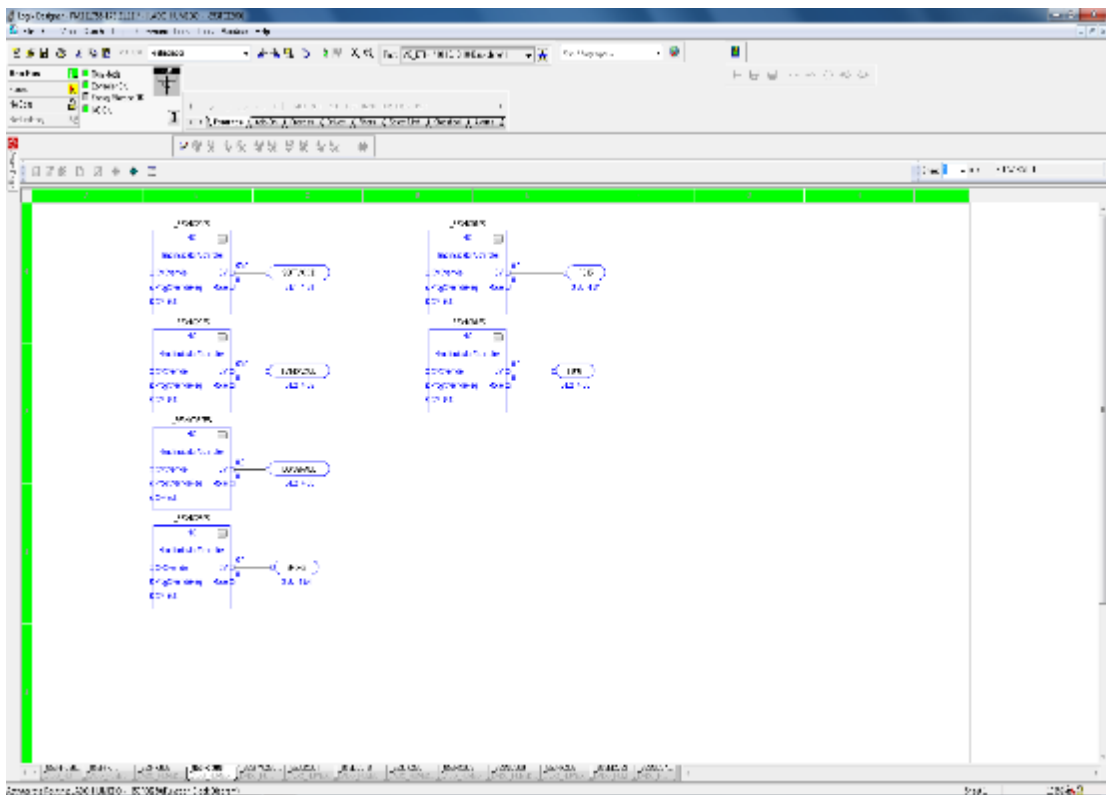
Programación de Bloques del controlador de flujo másico total al tanque de Mezcla





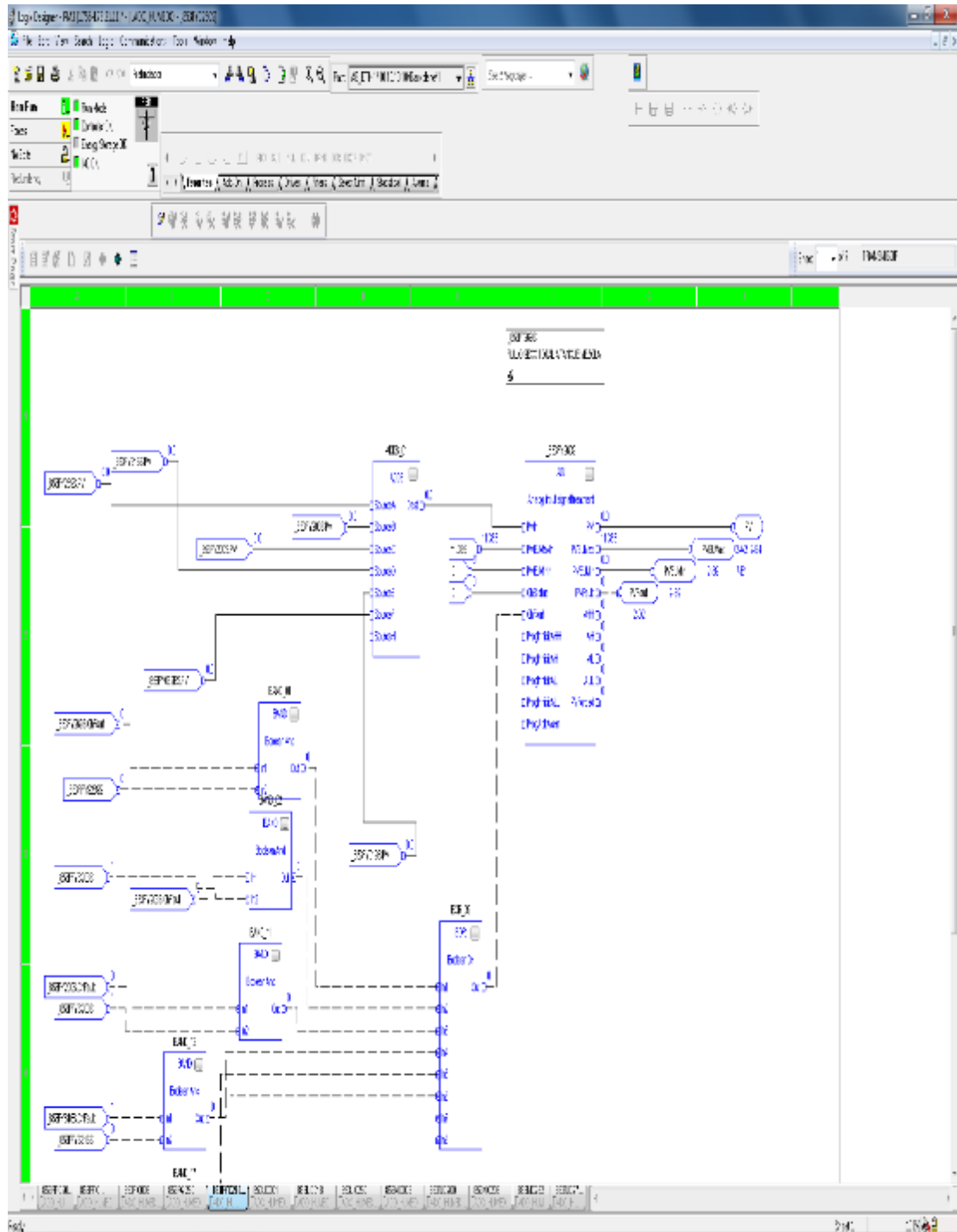
ANEXO C

Programación de Bloques para establecer la relaciones de flujo de entrada al tanque de Mezcla



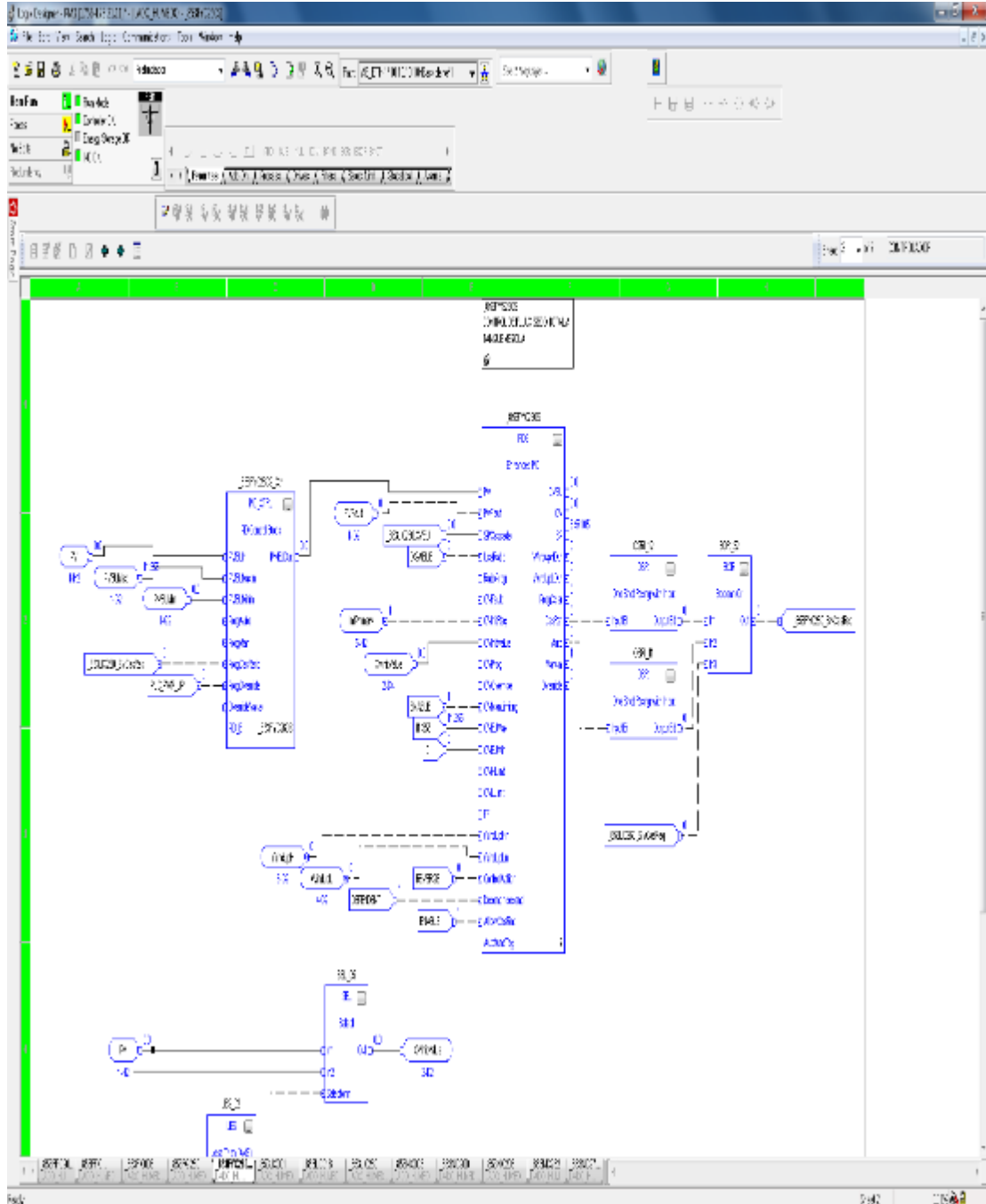
ANEXO D

Programación de Bloques de entradas de flujo másico al tanque de Mezcla



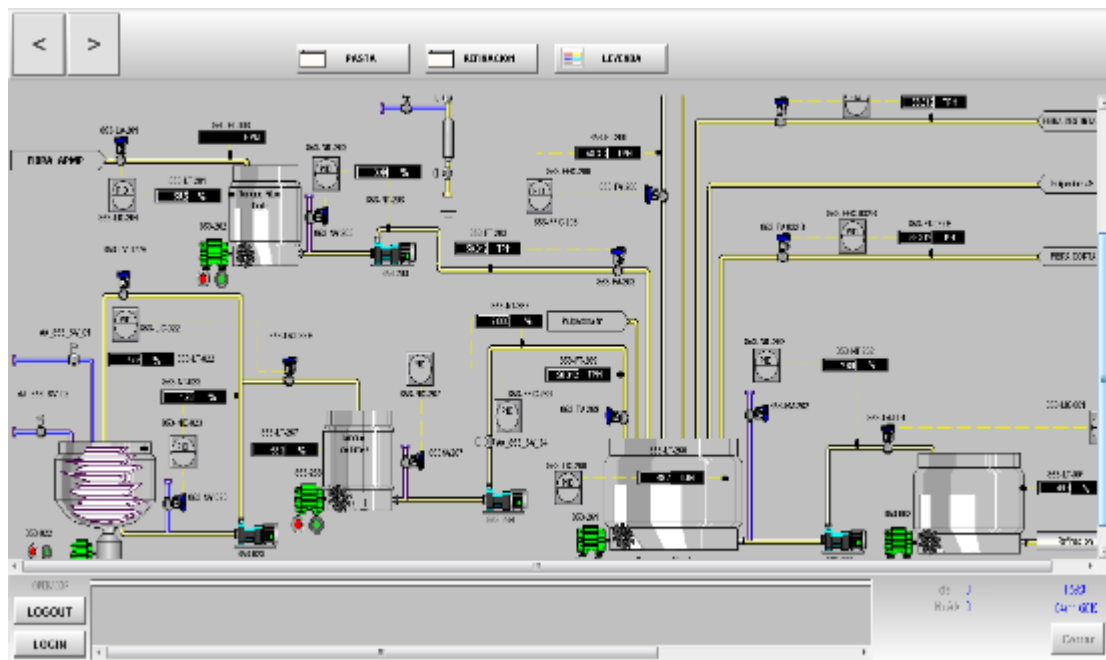
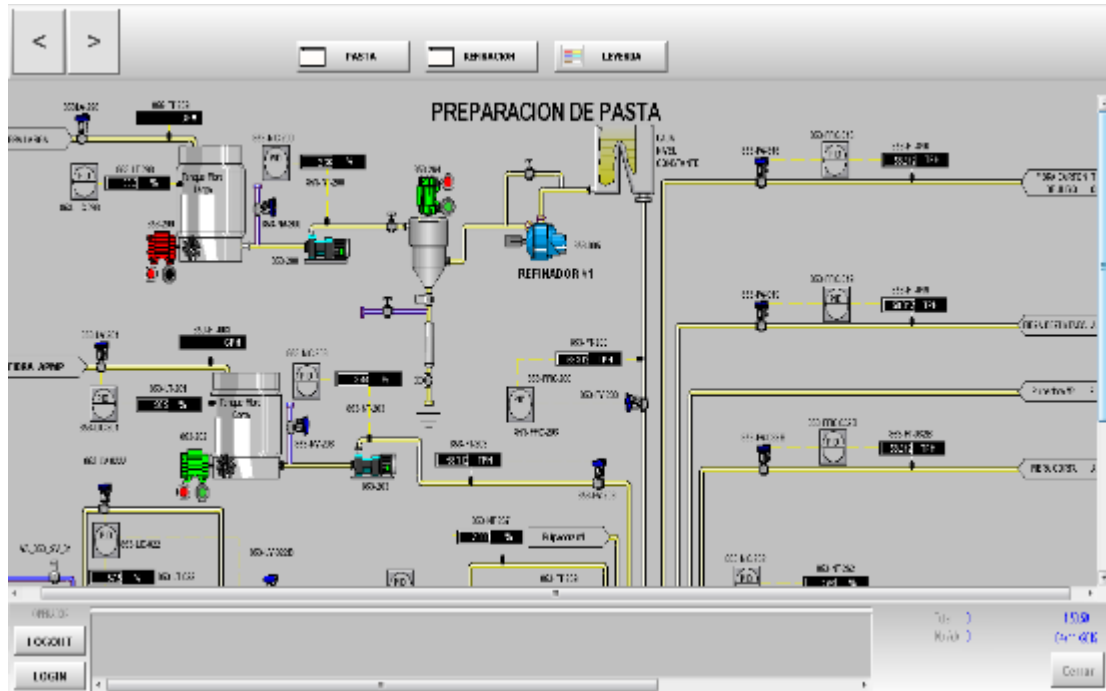
ANEXO E

Programación de Bloques del controlador de flujo másico total al tanque de Mezcla



ANEXO F

Programación de la pantalla de interface hombre máquina de preparación de pastas



ANEXO G

Programación de la pantalla de interface hombre máquina Refinación

