



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA INDUSTRIAL PARA LA
FABRICACION DE UN PRODUCTO QUÍMICO
LIMPIADOR**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELECTRICO ELECTRONICO**

P R E S E N T A N:

**REAL PERALTA JULIAN FERNANDO
OTEO CARAVEO MOISES
VELASCO OLMOS ALMA REBECA
SILVA CRUZ JORGE ALEJANDRO
CARDENAS FLORES BERNARDO**



MEXICO, D.F.

**ASESOR DE TESIS:
M. I. JUAN CARLOS ROA BEIZA
2014**

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme permitido estar en el tiempo y lugar adecuado.

A mi abuelo Salvador, por quien soy lo que soy y a quien tanto debo. Mas vale tarde que nunca. Tu "muchacho" terminó finalmente. Gracias en donde quiera que estés.

A mi madre Margarita, por estar conmigo en todo momento y por su apoyo y amor incondicional sin yo merecerlo.

A mi hermano Mauricio, sabes que te llevo en el corazón. Tus enseñanzas han sido fundamentales en mi vida. Te quiero.

A mis Tíos Rosalina y Arturo, quienes me han contagiado de su pasión por la búsqueda del conocimiento y de quienes me siento orgulloso.

A todos los que se han adelantado en este camino de la vida, Tía Linda, Mamina, Chavo. No pudieron estar aquí en cuerpo, pero viven dentro de mi y gracias a ustedes soy lo que soy ahora.

A Diego, mi hijo, porque has sido un motor importante en mi vida, y has logrado regresarme del punto de la locura y hacerme aterrizar de nuevo con un simple "te quiero"

A la UNAM, mi alma Mater de quien estoy orgulloso de pertenecer.

A mi asesor por su tiempo, extrema paciencia y múltiples enseñanzas.

A la vida que continúa retándome.

A lo bueno y a lo malo, y a todo lo que venga.

Bernardo

A mi SEÑOR y DIOS por la oportunidad de llegar a alcanzar una de las más grandes metas de mi vida.

A mis amados Padres por el apoyo incondicional que me brindaron durante sus vidas.

A mi abuelita (Nana) que siempre estuvo apoyándome a través de sus oraciones.

A mí amada esposa y mi adorable hija que siempre me han brindado su apoyo.

A mis hermanos a los cuales amo y siempre he contado con ellos.

A todas las personas que amo.

Al estimado asesor y buen compañero, en el cual siempre hemos tenido apoyo.
GRACIAS.

Moisés

A mis maestros, a nuestro asesor por todo su tiempo; a mi familia y amigos por su apoyo y desvelos pero especialmente a mis padres cuyo ejemplo y dedicación han sido la guía de mi vida.

Un gran abrazo y mi eterno agradecimiento.

Con todo cariño, Julián

Agradezco profundamente a:

-Mis padres, Fernando y Alma, porque me han dado todo el amor y el apoyo para que aprenda a tomar mis decisiones y sea una persona correcta y responsable como ellos me enseñaron. Son lo que más amo en el mundo y se merecían esto mucho antes.

-Mi hermana, Wendy, porque siempre me animaste a continuar y has sido mi ejemplo desde niña.

-Mi pareja, Said, porque nuestros sueños han ayudado a concretar esto. Te agradezco enormemente tu amor, tu paciencia y tu apoyo incondicional en todo momento.

Dedico especialmente esta tesis a:

-A mi sobrinos, Akane, Julio, Joshua y Carlos; porque los amo como si fueran míos y espero ser algún día un buen ejemplo para ustedes. Quiero que lleguen tan lejos como puedan y deseo estar ahí para ayudarlos.

Rebeca

Antes que todo Gracias a Dios.

Agradezco profundamente la paciencia y tiempo que me otorgaron en esta última trayectoria para obtener este logro y que son un motivo de esmero, a mi esposa e hija.

Agradezco a mis hermanas quienes han sido y son un motivo de felicidad y de reflexión.

Agradezco a mis padres quienes siempre y a pesar de todo, lograron apoyarme, impulsarme, corregirme y guiarme por el camino que he trazado. El logro también es de ellos.

Agradezco a la UNAM por la oportunidad que me otorgo para demostrarme a mí mismo que uno logra las cosas a pesar de todo siempre que sea dedicado y que lo que recibimos es solo lo que trabajamos.

Jorge Alejandro Silva Cruz

Índice Temático:

Capítulo I Entorno del problema.

- 1.1. Introducción del proceso actual.
- 1.2. Método de adición de componentes y mezcla base.
- 1.3. Esquema de dilución y distribución a las líneas de envasado.
- 1.4. Diagrama de bloques del proceso.
- 1.5. Responsabilidades de cada área involucrada en el proceso.

Capítulo II Marco Teórico.

- 2.1. Características, ventajas y desventajas de la Instrumentación requerida.
- 2.2. Tipo de control a aplicar en cada una de las secciones del proyecto.
- 2.3. PLC - características, ventajas y desventajas.
- 2.4. Características del software de programación.
- 2.5. Normas nacionales aplicables.

Capítulo III Análisis y planteamiento del proceso.

- 3.1. Proceso actual contra proceso propuesto.
- 3.2. Requerimientos generales y particulares del usuario.
- 3.3. Diagrama de bloques y pantallas sugeridas al usuario de las variables involucradas.
- 3.4. Elección de instrumentación y actuadores.
- 3.5. Carta de Gantt de mejora del proceso.

Capítulo IV Diseño y construcción.

- 4.1. Control secuencial de válvulas, bombas, medidores de flujo y nivel, presión en la preparación.
- 4.2. Control automático de nivel en dilución y distribución de líneas de envasado.
- 4.3. Elección y programación del PLC.
- 4.4. Front-End del sistema.
- 4.5. Pruebas, evaluación y comparativa de proceso actual contra anterior.

Conclusiones.

Bibliografía.

1.1 INTRODUCCIÓN.

La presente investigación expone la solución que se propone para la problemática que surge en el tema “Optimización de un sistema industrial para la fabricación de un producto químico limpiador”. Una descripción introductoria se encontrará en las sucesivas líneas, así como las razones que motivaron a la elección de este tema.

Para este proyecto de tesis se ha decidido tomar un proceso industrial que presenta múltiples áreas de oportunidad donde se pueden aplicar diversos conocimientos y experiencias adquiridas tanto en la Facultad de Ingeniería como en el campo de trabajo.

Este documento comprende el análisis e investigación documental necesaria sobre el entorno actual para ubicar las áreas de oportunidad del sistema y brindar una solución integral que ataque las debilidades del proceso de adición de sustancias químicas en la preparación de un líquido quita manchas con el fin de dar confiabilidad al sistema, reducir costos de mantenimiento, atenuar riesgos y evitar exposición a químicos; y en consecuencia minimizar mano de obra y tiempo de elaboración

Con el objetivo de trabajar con equipo que se tiene previamente en la empresa, se desglosa información acerca de las características, ventajas y desventajas de la instrumentación y actuadores requeridos para este proceso junto con las comparativas de los equipos utilizados inicialmente.

También se describirán los tipos de control a aplicar en cada una de las secciones del proyecto. Se da especial importancia a las características que brindan los PLC y las mejoras que se obtienen con un sistema controlado con este tipo de dispositivos, ya que son el punto clave en el control que se usará.

Al ser un proyecto real y utilizado por una empresa internacional es importante tomar en cuenta las normas nacionales aplicables que estarán rigiendo, sustentando y limitando la propuesta, ya que está tendrá que cumplir con algunos requisitos

adicionales al buen funcionamiento que son inherentes tanto a maquinaria como al proceso que se pretende modificar.

Por otra parte, se genera un comparativo del proceso actual versus el proceso propuesto para remarcar las ventajas de la propuesta con ayuda de diagramas y tablas que brindan información sobre análisis de tiempos, cambios estructurales y mejoras económicas que recibirá la empresa.

Dentro del capítulo referente al diseño y la construcción, se describirá el análisis y propuesta de la implementación de las diferentes etapas del proceso. Se describirá la programación de utilizada y las pantallas de la interfaz que utilizará el operario final para poder interactuar con el proceso. Aquí es donde se podrá observar la integración de la programación con los componentes físicos que dará la lógica entre las entradas (Sensores) y las salidas (Actuadores).

Estas actividades de programación y de integración arrojarán los resultados de este trabajo de investigación, diseño y ejecución, los cuales se presentan para dar las respectivas conclusiones a la solución que se propone.

1.2 Proceso actual y adición de componentes.

El proceso que se estudiará y se mejorará se divide básicamente en dos grandes bloques, el primero se refiere a la forma de preparación de una formula concentrada, y el segundo se refiere a la distribución y dilución de concentrado. Ambos procesos resultan actualmente insuficientes e inestables para cubrir los requisitos de productividad, calidad y seguridad ya que están marcados primordialmente por tareas manuales o, en sus mejores casos, en forma semiautomática. Actualmente se solventan echando mano de la fuerza productiva en ocasiones innecesaria, lo cual implica altos costos de mano de obra.

El proyecto planteado parte del análisis del modo de trabajo actual y brinda las áreas de oportunidad en las que deben implementarse mejoras a tareas que atentan contra los protocolos que rigen y marcan los estándares de la empresa: sistema de calidad, sistema de seguridad, salud ocupacional y el sistema de gestión ambiental. Actualmente, el proceso es sustentado por trabajadores que se basan procedimientos estipulados por estos estándares pero a pesar de ello, el riesgo de incidentes al depender completamente de personal es latente y haciendo seguimientos a las carencias que presenta el proceso es cómo se debe de dar una respuesta a estos puntos para eliminar los riesgos.

La calidad actualmente es un procedimiento sensible a factores humanos ya que depende más del buen manejo que se dé al procedimiento y, en la mayoría de los casos, depende del conocimiento empírico del operador. Esto genera que el proceso fluctúe; por ejemplo, los tiempos de preparación, e incluso de las cantidades de material ocupado, dependerán de la percepción de la persona que monitoree el proceso. También, el actual manejo de materiales atenta contra el ambiente, por el latente riesgo de derrames; y contra la seguridad y salud del trabajador, ya que éste se expone a manipulación de químicos durante el proceso. A pesar del uso de controles operacionales y el equipo de protección personal, considerados en varias ocasiones obsoletos, para atenuar posibles efectos, las consecuencias generadas por algún incidente podrían resultar en una fatalidad.

Actualmente se realiza una preparación de concentrado de 2500 Kg y en total se tiene contacto directo o indirecto con 8 químicos diferentes que van desde ligeramente peligrosos a altamente peligrosos, de los cuales sólo 3 se abastecen con tubería con control apagado o encendido total y los otros 5 se dosifican manualmente. En la tabla 1.2.1, se muestran los porcentajes de materiales ocupados.

Material dosificado	Peso Kg
Agua desmineralizada.	600
Surfactante	200
Acido de alta viscosidad.	200
Sosa Cáustica.	100
Hidróxido de amonio	100
Peróxido de hidrógeno	1200
Colorante	50
Fragancia	50
Total	2500

Tabla 1.2.1 Lista de materiales usados en la fórmula.

Para la generación de cada concentrado se requieren a 4 personas dedicadas a realizar esta fórmula y sus tareas principales son verter y mezclar químicos, medir volúmenes manualmente, muestrear y hacer un análisis químico, así como encender y apagar equipos de bombeo y mezcladores.

En la tabla 1.2.2, se describe el detalle de la preparación de tanque de concentrado, o **granel**.

		DESCRIPCION	TIEMPO
TAREA	CANTIDAD DE MAT.		(min)
#	KG		
1		Traer material surtir pedido.	60
2		Limpieza de tanque	15
3	600	Agregar agua 600 Kg., dosificado semiautomático con	6

		medición manual. Actualmente cubican con metro.	
4		Encender el mezclador manualmente y mover frecuencia para que quede a 30 rpm.	5
5	200	Agregar surfactante 200 Kg. manualmente de tambos y medición manual.	15
6		Mezcla por 5 minutos para estabilizar y diluir perfectamente.	5
7	200	Agregar acido de alta viscosidad 200 Kg. semiautomático y medición semiautomática.	7
8		Mezcla por 5 minutos para estabilizar y diluir perfectamente.	5
9		Apagar el motor del mezclador y tomar muestra de producto en los dos extremos.	3
10		Medición inicial de ph. 1.0 (entre 2 y 3).	3.5
11		Encender y ajuste manual de mezclador a 45 rpm.	5
12	85	Agregar 85 Kg. de sosa cáustica para elevar ph. Entre 7 y 10.	20
13		Mezcla por 3 minutos.	3
14		Apagar el motor del mezclador y tomar muestra de producto en los dos extremos.	3
15		Medición de ph. 1.1.	3.5
16		Encender el mezclador manualmente.	0.5
17	3	Agregar 3 Kg. de sosa cáustica.	1
18		Mezclar por 3 minutos.	3
19		Apagar el motor del mezclador y tomar muestra de producto en los dos extremos.	3
20		Medición de ph. 1.2.	3.5
21		Encender el mezclador manualmente.	0.5
22	3	Agregar 3 Kg. de sosa cáustica.	1
23		Mezclar por 3 minutos.	3
24		Apagar el motor del mezclador y tomar muestra de producto en los dos extremos.	3
25		Medición de ph. 1.3.	3.5
26		Encender el mezclador manualmente.	0.5
27	3	Agregar 3 Kg. de sosa cáustica.	1
28		Mezcla por 3 minutos.	3
29		Apagar el motor del mezclador y tomar muestra de producto en los dos extremos.	3
30		Medición de ph. 1.4.	3.5

31		Encender el mezclador manualmente.	0.5
32	3	Agregar 3 Kg. de sosa cáustica.	1
33		Mezclar por 3 minutos.	3
34		Apagar el motor del mezclador y tomar muestra de producto en los dos extremos.	3
35		Medición de ph. 1.5.	3.5
36		Encender el mezclador manualmente.	0.5
37	3	Agregar 3 Kg. de sosa cáustica.	1
38		Mezcla por 3 minutos.	3
39		Apagar el motor del mezclador y tomar muestra de producto en los dos extremos.	3
40		Medición de ph. 1.6.	3.5
41		Encender el mezclador manualmente.	0.5
42	85	Se agrega manualmente hidróxido de amonio 85 Kg. para control de ph. Entre 4 Y 5	15
43		Mezcla por 3 minutos	3
44		Apagar el motor del mezclador y tomar muestra de producto en los dos extremos	3
45		Medición de ph. 1.7	3.5
46		Encender el mezclador manualmente.	0.5
47	3	Agregar 3 Kg. de hidróxido de amonio.	1.5
48		Mezclar por 3 minutos.	3
49		Apagar el motor del mezclador y tomar muestra de producto en los dos extremos.	3
50		Medición de ph. 1.8.	3.5
51		Encender el mezclador manualmente.	0.5
52	3	Agregar 3 Kg. de hidróxido de amonio.	1.5
53		Mezclar por 3 minutos.	3
54		Apagar el motor del mezclador y tomar muestra de producto en los dos extremos.	3
55		Medición de ph. 1.9.	3.5
56		Encender el mezclador manualmente.	0.5
57	3	Agregar 3 Kg. de hidróxido de amonio.	1.5
58		Mezclar por 3 minutos.	3
59		Apagar el motor del mezclador y tomar muestra de producto en los dos extremos.	3
60		Medición de ph. 1.10.	3.5

61		Encender el mezclador manualmente.	0.5
62	3	Agregar 3 Kg. de hidróxido de amonio.	1.5
63		Mezclar por 3 minutos.	3
64		Apagar el motor del mezclador y tomar muestra de producto en los dos extremos.	3
65		Medición de ph. 1.11.	3.5
66		Encender el mezclador manualmente.	0.5
67	3	Agregar 3 Kg. de hidróxido de amonio.	1.5
68		Mezclar por 3 minutos.	3
69		Apagar el motor del mezclador y tomar muestra de producto en los dos extremos.	3
70		Medición de ph. 1.12.	3.5
71		Encender el mezclador manualmente.	0.5
72	1300	Se agrega 1200 Kg de material 4, peróxido de hidrogeno. Fragancia y colorante. 100kg	12
73		Mezclar por 3 minutos.	3
74		Limpieza y despeje.	10

Tabla 1.2.2. Descripción de las tareas para preparar un granel

Un equipo de 4 personas abastecen de granel concentrado y 1 persona se ocupa de dosificar y diluir a alguna de las 5 líneas. Sin embargo hoy existen 2 posibles productos finales y la única diferencia que existen entre ellos son dos componentes: el aromatizante y el colorante. Estos son agregados después de la generación del granel y antes de la dilución por lo que implica que se tendrá que despachar los 2500 Kg. de concentrado a una sola línea de una sala fragancia y de una sola tonalidad. Durante este periodo la línea no estará disponible para un producto diferente. En la figura 1.2.1., se muestra el sistema actual.

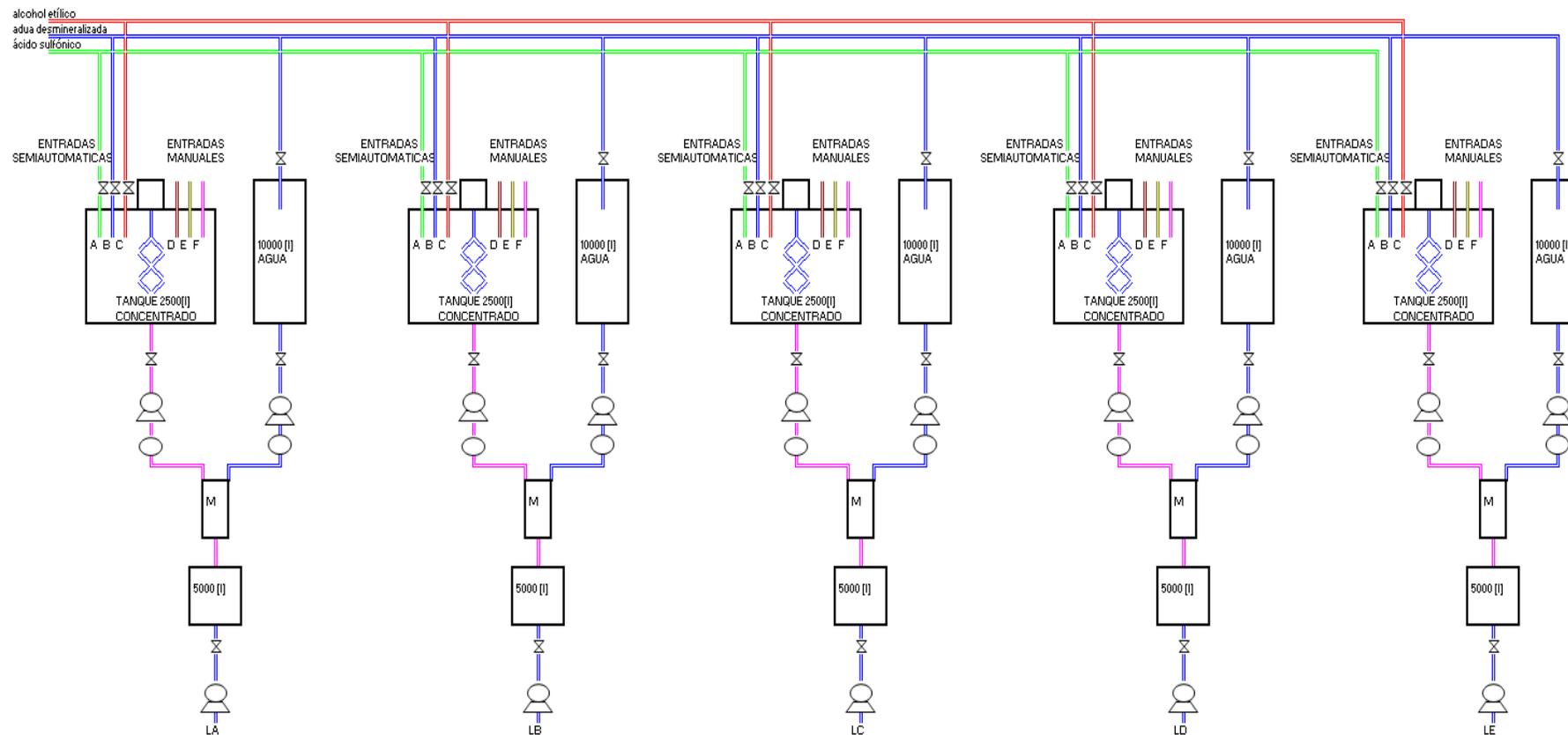


Figura 1.2.1 Diagrama de sistema actual.

El proceso de preparación se realiza en 5 ocasiones para cubrir cada una de las líneas lo cual implica trabajo en serie de 24 horas o trabajo en paralelo de 5 equipos de preparadores por 5 horas. El ahorro que se pretende será la reducción de tiempo y de trabajo.

Se requiere un promedio de 500 litros por minuto para dar la producción demandada en una sola presentación de granel. Actualmente, aún parando líneas y bombeando el contenido de los tanques de granel que se preparan para otras líneas, se puede trabajar máximo un turno de 8 Hrs.

Con la restructuración planteada se tendrá un sistema redundante, en cual tendrá un respaldo del sistema de dilución en caso de avería o mantenimiento.

En la tabla 1.2.3, se muestra que hay una mala distribución de la demanda de cada línea, lo cual implica falta de granel en las líneas de alta demanda y excesos en otras.

LINEA	PPM	PRESENTACION LITROS	DEMANDA	DEMANDA	DURACION DE CONCENTRADO
			LITROS / MIN	LITROS/ HORA	HORAS
L1	30	9	270	16200	1.54
L2	90	1.75	157.5	9450	2.64
L3	50	0.65	32.5	1950	12.82
L4	25	0.25	6.25	375	66.66
L5	15	0.1	1.5	90	277.77
TOTAL			467.75	28065	

Tabla 1.2.3. Proporción de granel en cada línea

En las tablas siguientes (1.2.4 – 1.2.9), se observa el tiempo de las tareas y si estas se señalizan en serie o en paralelo.

REALIZAR UNA PREPARACION DE CONCENTRADO DE 2500 KG ACTUAL											
TAREA #	TIEMPO (min)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
		60.0	15.0	6.0	15.0	5.0	7.0	5.0	3.0	5.0	20.0
		1	60	60							
2	15		15								
3	6			6							
4	5			5							
5	15				15						
6	5					5					
7	7						7				
8	5							5			
9	3								3		
10	3.5									3.5	
11	5									5	
12	20										20

Tabla 1.2.4. Relación de las tareas según el tiempo

REALIZAR UNA PREPARACION ACTUAL DE CONCENTRADO DE 2500 KG											
TAREA #	TIEMPO (min)	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20
		3.0	3.0	3.5	1.0	3.0	3.0	3.5	1.0	3.0	3.0
		13	3	3							
14	3		3								
15	3.5			3.5							
16	0.5			0.5							
17	1				1						
18	3					3					
19	3						3				
20	3.5							3.5			
21	0.5							0.5			
22	1								1		
23	3									3	
24	3										3

Tabla 1.2.5. Relación de las tareas según el tiempo

REALIZAR UNA PREPARACION DE CONCENTRADO DE 2500 KG ACTUAL											
	TIEMPO										
TAREA	(min)	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30
#		3.5	1.0	3.0	3.0	3.5	1.0	3.0	3.0	3.5	1.0
25	3.5	3.5									
26	0.5	0.5									
27	1		1								
28	3			3							
29	3				3						
30	3.5					3.5					
31	0.5					0.5					
32	1						1				
33	3							3			
34	3								3		
35	3.5									3.5	
36	0.5									0.5	
37	1										1

Tabla 1.2.6. Relación de las tareas según el tiempo

REALIZAR PREPARACION ACTUAL DE CONCENTRADO DE 2500 KG											
	TIEMPO										
TAREA	(min)	T31	T32	T33	T34	T35	T36	T37	T38	T39	T40
#		3.0	3.0	3.5	15.0	3.0	3.0	3.5	1.5	3.0	3.0
38	3	3									
39	3		3								
40	3.5			3.5							
41	0.5			0.5							
42	15				15						
43	3					3					
44	3						3				
45	3.5							3.5			
46	0.5							0.5			
47	1.5								1.5		
48	3									3	
49	3										3

Tabla 1.2.7. Relación de las tareas según el tiempo.

REALIZAR UNA PREPARACION ACTUAL DE CONCENTRADO DE 2500 KG											
TAREA #	TIEMPO (min)	T41	T42	T43	T44	T45	T46	T47	T48	T49	T50
		3.5	1.5	3.0	3.0	3.5	1.5	3.0	3.0	3.5	1.5
50	3.5	3.5									
51	0.5	0.5									
52	1.5		1.5								
53	3			3							
54	3				3						
55	3.5					3.5					
56	0.5					0.5					
57	1.5						1.5				
58	3							3			
59	3								3		
60	3.5									3.5	
61	0.5									0.5	
62	1.5										1.5

Tabla 1.2.8. Relación de las tareas según el tiempo.

REALIZAR UNA PREPARACION DE CONCENTRADO DE 2500 KG ACTUAL											
TAREA #	TIEMPO (min)	T51	T52	T53	T54	T55	T56	T57	T58	T59	T60
		3.0	3.0	3.5	1.5	3.0	3.0	3.5	12.0	3.0	10.0
63	3	3									
64	3		3								
65	3.5			3.5							
66	0.5			0.5							
67	1.5				1.5						
68	3					3					
69	3						3				
70	3.5							3.5			
71	0.5							0.5			
72	12								12		
73	3									3	
74	10										10

Tabla 1.2.9. Relación de las tareas según el tiempo

Como se observa en las tablas hay varias tareas repetitivas pero actualmente son realizadas de forma manual e incluso hay tareas que podrían realizarse en paralelo o que se ejecutan de esta forma y aún así se usan dos trabajadores para realizarlas.

Algunos componentes, proporciones y procedimientos fueron omitidos o modificados para conservar la confidencialidad de la empresa y la fórmula.

1.3. Esquema de dilución y distribución a las líneas de envasado

Actualmente, el sistema de dilución toma en cuenta las siguientes variables: Flujo en tubería, Frecuencia de bomba y Niveles de tanques. En el esquema de dilución se cuenta mezclador estático, compuesto por un juego de aspas fabricadas en acero inoxidable que trabajan en función de los flujos agregados, donde se agregan 90% de agua deionizada, surtida a través de tubería, y 10% de un concentrado el cual contempla tanto color como fragancia. También se cuenta con un par de sensores de nivel que controlan la cantidad de componentes que ingresan a mezclador durante la dilución y mantienen los niveles en los tanques de agua y concentrado.

Hoy en día, el operario fija en un panel la frecuencia de la bomba de agua y además debe fijar la frecuencia de la bomba de concentrado manualmente para poder dar la proporción de 10 % para la dilución requerida. Estas frecuencias son establecidas estando ambos tanques (el agua y el concentrado) completamente llenos, cuando se presenta una pérdida de presión hidrostática en los tanques, varía el flujo de las bombas y esto altera la proporción que fuerza a que se manipule manualmente la frecuencia por el operario para conservar la proporción requerida. Esto hace el sistema impreciso y falible en muchos puntos.

Para llevar dicho control de dilución se incluyen dos bombas y una pantalla Simatic Touch donde es posible monitorear el porcentaje de dilución y, en caso de ser necesario, también puede ingresarse manualmente un par de ajustes para mantener la proporción requerida por la mezcla. Esta pantalla se aprecia en la figura 1.3.1

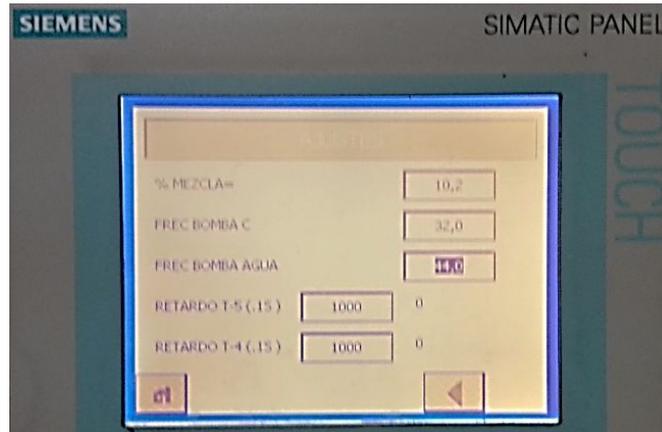


Figura 1.3.1 Pantalla Simatic Touch para ajuste de parámetros

Por esta razón, existe un tabulador que muestra el porcentaje de la mezcla en la cual debe ubicarse la dilución en función de las frecuencias. Si el valor fuese mayor a 10% se está desperdiciando granel y el operador debe modificar la frecuencia de bomba para estabilizar. Por otro lado, con valores menores a 10% implica que la sustancia de color ha sido diluida en exceso y no cumple con la concentración necesaria para el consumidor; por ende también debe modificarse los parámetros por operario para estabilizar porcentaje de dilución.

Como se ha comentado, dicha proporción se realiza a través de las bombas, que controlan la cantidad de sustancia que es inyectada dependen del valor programado en la figura 1.3.1. Sin embargo la programación es en lazo abierto lo que implica que si el valor "%MEZCLA" está fuera de rango es necesario modificar

el parámetro “FREC BOMBA C” y esperar varios minutos a que el sistema se estabilice al valor nuevo. En caso que el nuevo valor “%MEZCLA” exceda de la tolerancia, se debe ajustar ahora el parámetro “FREC BOMBA AGUA” lo cual conlleva oscilaciones en la relación de mezcla del sistema de diluido, al igual que personal que genere estos cambios. En ocasiones este personal debe controlar manualmente las válvulas del producto ya concentrado y del agua desmineralizada para asegurar la proporción requerida.

La mejora propuesta es optimizar el sistema de dilución en base a un lazo cerrado que evite el control manual.

Finalmente, el resultado de la realización de cada uno de estos productos se dirige a las llenadoras las cuales cuentan con un pequeño depósito para almacenar y amortiguar parte del consumo de la máquina. Actualmente, se despachan los 2500 kilogramos de concentrado a una sola línea, con una sola fragancia y una sola tonalidad. Esto genera que esa línea se encuentre bloqueada para producir específicamente un producto con una sola fragancia y una sola tonalidad, hasta que se vierta el total de concentrado mezclado con el aromatizante y el colorante seleccionado.

En la siguiente imagen, Figura 1.2.1 se muestra la distribución de cada una de las líneas al envasado y puede apreciarse mejor que, al momento, cada línea fabrica distintas presentaciones.

1.4 Diagrama de bloques del proceso

En el presente capítulo se describe mediante un diagrama de bloques la forma simplificada del proceso. Cabe aclarar que este flujo se multiplica por la cantidad de tolvas y mezcladores que se estén utilizando de acuerdo a las necesidades comerciales y de producción de la empresa, sin embargo, el proceso como tal, es el mismo, y por ello al ser repetitivo, se ha optado por automatizarlo.

El proceso inicia con la mezcla inicial de peróxido de hidrógeno y ácido de alta viscosidad. Es importante conocer que la función del peróxido de hidrógeno es servir como base a la mezcla.

Por cuestiones de propiedad intelectual, así como de derechos, no está permitido revelar a detalle la fórmula química del limpiador líquido. Sin embargo, la base es simple, como se comentó anteriormente, y se basa en disolver peróxido de hidrógeno, que actúa como un agente limpiador, (ácido de alta viscosidad) en otro agente que estabilice la mezcla (surfactante). Este último influye por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre las dos fases de una mezcla, es decir, en que la mezcla se realice de forma óptima.

Posterior a este punto, el proceso continúa de forma repetitiva, agregando cantidades pequeñas de sosa cáustica para poder controlar el pH de la mezcla. Se debe recordar que este producto es un limpiador para uso doméstico conocido por su agresividad con la piel por lo que es de suma importancia asegurar la seguridad al contacto con la piel, así como la colocación de leyendas de advertencia. De esto surge la importancia de controlar el pH para obtener un limpiador que no sea agresivo en exceso con el hombre ni con los objetos limpiados.

Se realiza una medición de pH con cada adición de sosa cáustica con ayuda de medidores de pH en ambos extremos de la tolva para asegurar que la mezcla sea homogénea.

Se agrega el colorante y la fragancia correspondientes al producto que se desee obtener en cantidades previamente determinadas por la fórmula del producto y por el tipo de presentación que se solicite obtener al final de la línea de producción y finalmente se lleva a cabo la dilución de la sustancia. El envasado se realiza de forma automática, adecuando la línea de producción a las capacidades de llenado requeridas, las cuales pueden ser desde un galón, de 700 ml y un producto llamado “doy pack” que consiste en envasar en paquetes de plástico.

A continuación, en el diagrama 1.4.1, se muestra de forma general a través de bloques, el proceso en su forma más elemental, esta forma sirve de ayuda para entender qué se requiere hacer, y la forma más simple de automatizarlo como describe en los capítulos siguientes.

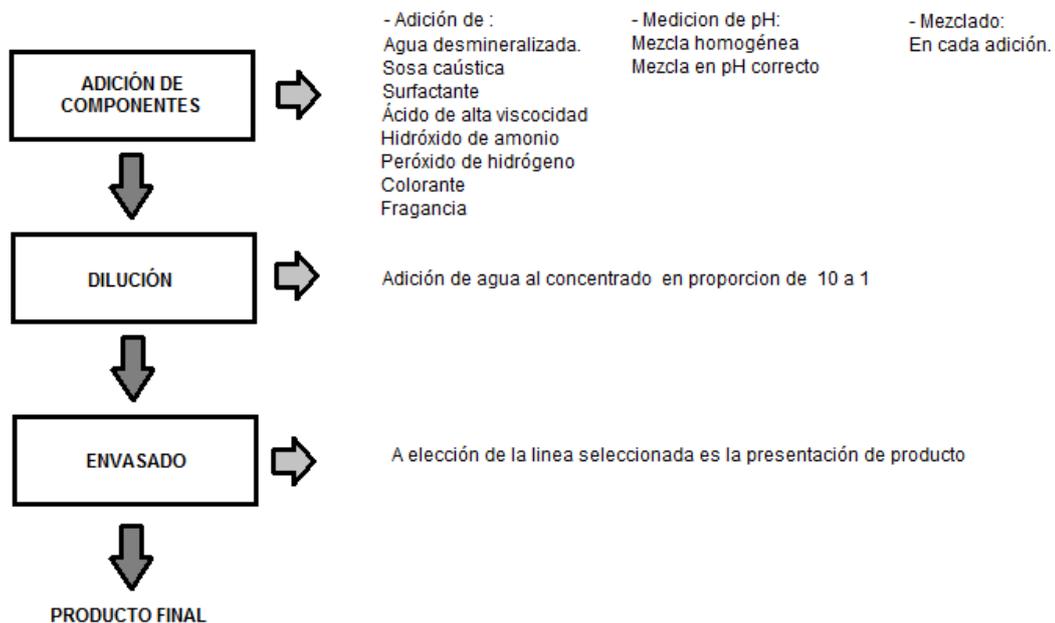


Figura 1.4.1. Diagrama de bloques simplificado del sistema.

1.5 Responsabilidades de cada área involucrada en el proceso

En este proceso, como actualmente se encuentra operando, se trabaja esencialmente de forma manual, es decir, la intervención humana es básica e importante, por lo tanto, la responsabilidad recae principalmente en los técnicos, operarios y demás personal encargado de realizar las mezclas y demás subprocesos en cada una de las líneas de producción.

En general, el grupo de 4 operarios, tiene como responsabilidad el acarreo del material, la limpieza del tanque donde se realizará la mezcla, posterior a esto, el agregado de agua desmineralizada en la cantidad indicada en las tablas, cuyo dosificado es semiautomático, es decir, vierten el agua al tanque donde se preparará la mezcla a partir de una manguera, y realizan la medición de forma manual, a través de un metro para cubicar el volumen de agua vertido. La siguiente responsabilidad de este grupo, es el encendido del mezclador de forma manual, cabe aclarar que en el control de este mezclador deben variar la frecuencia del mismo hasta obtener 30 revoluciones por minuto en el tanque de mezcla. Posteriormente, deberán agregar la cantidad de surfactante indicada en tablas. Realizados los vaciados de sustancias indicadas, deben mezclarse en el tambo por 5 minutos hasta lograr la estabilización y dilución del producto.

Posterior a esta mezcla, se deberá agregar y medir de forma manual ácido de alta viscosidad para mezclar por 5 minutos más, para posteriormente apagar el mezclador, y tomar una muestra de producto para verificar su pH, el cuál debe encontrarse entre 2 y 3 de acuerdo a las tablas. De nuevo se deberá encender y ajustar de forma manual el mezclador para que trabaje ahora a 45 RPM para posteriormente agregar sosa cáustica para elevar el PH de la mezcla y éste llegue a un valor entre 7 y 10. Se deberá tomar el tiempo de nuevo para mezclar por 3 minutos más, posteriormente se apagará el motor del mezclador y de nuevo se tomará muestra de la mezcla para verificar el PH nuevamente. Esta operación se realiza en repetidas ocasiones, agregando Sosa Cáustica en cantidades de 3

kilogramos cada vez, para poder realizar la variación de pH hasta llegar al indicado, cabe aclarar que cada vez que se agrega este químico, es necesario previamente apagar el mezclador, verificar la medición de pH agregar el químico, encender manualmente el mezclador y verificar la velocidad de nuevo para lograr obtener la mezcla necesaria para cumplir la calidad indicada. Un ciclo similar al descrito se genera para la adición de hidróxido.

Finalmente, se agrega peróxido de hidrógeno, fragancia y colorante, esto también se vierte y mide de forma manual, para posteriormente encender de nuevo el mezclador, verificar su velocidad, y mezclarlo por 3 minutos. Al finalizar, se deberá realizar la limpieza y despeje de las áreas y herramientas utilizadas.

En resumen, la responsabilidad de este primer grupo o primera etapa del proceso, se basa en la medición, vertido y control de forma manual tanto de volúmenes como de velocidades y tiempos de la mezcla.

Una persona adicional tiene la responsabilidad de dosificar y diluir en alguna de las 5 líneas de producción con las que se cuenta. La dilución, si se cumplen condiciones ideales, se realiza de forma automática sin embargo esto sucede pocas veces; si alguna variable cambia se deberá ajustar de forma manual para obtener los porcentajes requeridos, por lo tanto, otra responsabilidad de este grupo de operarios, es verificar la dilución y, en su caso de ser necesario, realizar los ajustes para que sea adecuada la proporción de dilución de acuerdo a lo marcado en las tablas del proceso actual.

En particular, en la dilución, se cuenta con un panel en el cuál el operario fija la frecuencia de la bomba de agua, y manualmente realiza la variación en la bomba de concentrado para obtener un porcentaje de dilución de 10 a 1, es responsabilidad de este operario verificar que este porcentaje se mantenga, ya que al fijarlo al inicio, es en condiciones de tanques llenos, al irse vaciando, la presión hidrostática va cambiando, por lo que se genera un cambio en el flujo de

las bombas. Este operario debe estar pendiente de esto para que conforme se vayan vaciando los tanques, se pueda ir variando de forma manual la bomba de concentrado para que el porcentaje de dilución se mantenga en la proporción indicada, ya que si no lo hace, el porcentaje de dilución inicial será diferente al porcentaje de dilución final, y esto redundará en diferencias entre los productos obtenidos.

Resumiendo, en el proceso actual se tiene un grupo total de 5 operarios, los cuales tienen la responsabilidad de realizar mediciones, vertidos y diluciones de forma manual, y de acuerdo a la apreciación personal de cada uno para obtener un producto único por cada una de las 5 líneas de producción. Las variables que controlan a lo largo del proceso son Volumen, Peso, Presión hidrostática, Frecuencia de las bombas de mezclado, y Niveles. El control se da con los mismos operarios, quienes tienen la responsabilidad de verificar que las variables descritas se encuentren en los parámetros marcados en las tablas de fabricación de cada producto, lo cuál es totalmente manual.

2.1. Características, ventajas y desventajas de la instrumentación requerida.

Para determinar las características, ventajas y desventajas de la instrumentación requerida se hará un análisis del funcionamiento (Principio de Operación) de los sensores y una comparación de los mismos para determinar qué es lo más conveniente en el proceso a desarrollar.

Como primer punto se define un **sensor** como un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas como: amperaje ó voltaje, etc.

En este caso se busca el poder controlar los niveles de los componentes en los distintos depósitos del proceso, por lo que se analiza el principio de operación de un **sensor de nivel**.

Los sensores de nivel se dividen en dos tipos principales:

Los **sensores de nivel continuo**: son más sofisticados y pueden realizar el seguimiento de nivel en todo un sistema. Estos miden el nivel del fluido dentro de un rango específico y en un único punto, produciendo una salida analógica que se correlaciona directamente con el nivel del recipiente. Para crear un sistema de concordancia de niveles y con ello crear la señal de salida vinculada a un bucle de control de proceso y sobre todo a un indicador visual. Un ejemplo de estos es el sensor de nivel ultrasónico, se muestra su funcionamiento en la figura 2.1.1

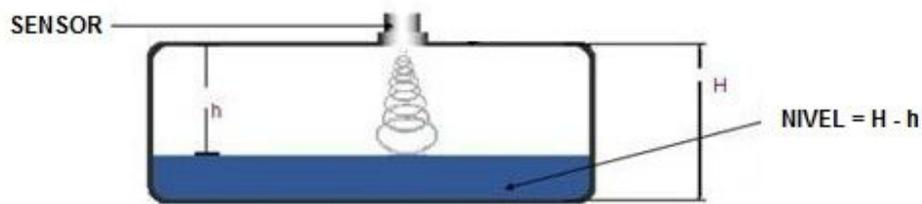


Figura 2.1.1. Funcionamiento de un sensor ultrasónico.

Los **sensores de medición de punto de nivel**: se utilizan para marcar la altura de un líquido en determinado nivel. Generalmente, este tipo de sensor funciona como alarma, indicando un sobre llenado cuando el nivel buscado ha sido alcanzado, o al contrario cuando el nivel es bajo.

De acuerdo al análisis del proceso actual se requerirá medir flujo que ayuda a controlar porcentajes de la mezcla, por lo que se muestra el principio de operación del **medidor de flujo**:

La construcción está basada en el "Principio de Venturi" para producir una diferencia de presión entre la entrada y la garganta. Esto se consigue con un cono divergente que desacelera la corriente. La relación que existe entre los distintos diámetros que tiene el tubo, es la diferencia que se obtendrá en las presiones

tanto a la entrada como a la salida. Esta relación de diámetros y distancias es la base para realizar los cálculos en la construcción de un “Medidor de Flujo” y con los conocimientos del caudal que se necesitan que pase por él. Así se deberá tener una admisión cilíndrica, un cono convergente, una garganta y cono divergente. La entrada convergente tiene un ángulo incluido de alrededor de 21° , y el divergente de 7° a 8° .

La finalidad del cono divergente es reducir la pérdida global de presión en el medidor, su eliminación no tendría efecto sobre el coeficiente de descarga. La presión se detecta a través de una serie de agujeros en la admisión y la garganta; estos agujeros conducen a una cámara angular, y las dos cámaras que están conectadas a un sensor diferencial de presión, corriente y voltaje, para con ello determinar la cantidad de flujo deseada a través del programa preestablecido.

En la siguiente imagen 2.1.2, se muestra el principio de funcionamiento de manera grafica.

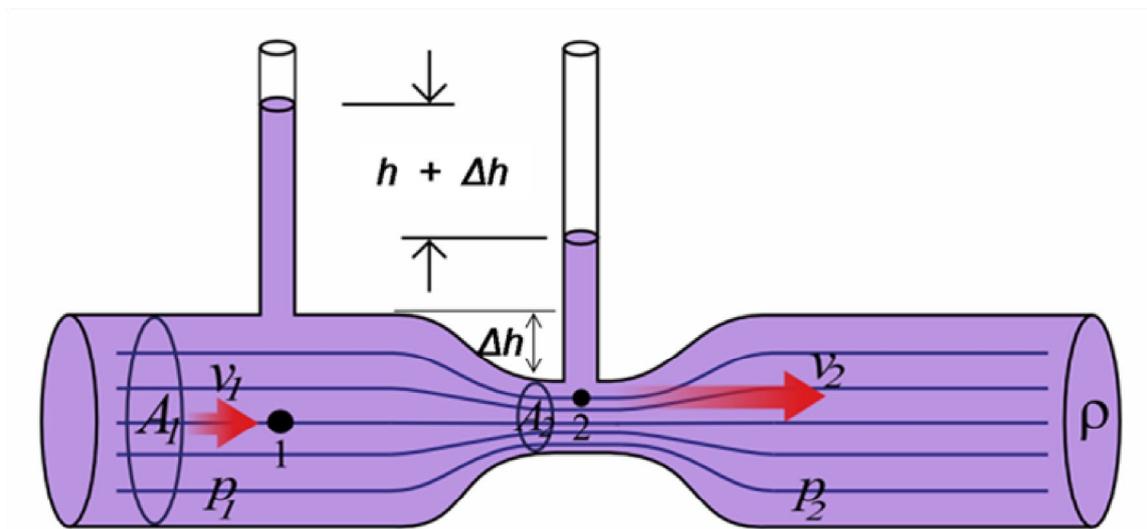


Figura 2.1.2. Relación de diámetros en tubo de Venturi para creación de las presiones.

El pH forma parte importante de las entradas del sistema propuesto porque brinda información de la homogeneidad de la mezcla y de la calidad del producto.

El funcionamiento de **medidor de pH** se describe a continuación:

Los medidores de pH más comunes incorporan un sensor de vidrio y un tubo de referencia. La sonda de pH mide la actividad de los iones de hidrógeno mediante la generación de una pequeña cantidad de tensión en el sensor y el tubo de referencia. El medidor de voltaje convierte a un valor de PH y la muestra en la pantalla digital, permitiendo así la cómoda medición de cualquier líquido. Por otro lado hay otra función que tienen algunos medidores de pH digitales que se denomina: compensación automática de temperatura. Éstos medidores tienen un termómetro incorporado que automáticamente se ajusta para cualquier discrepancia de la línea de base de 25 ° C. Ver composición del medidor del PH en la figura 2.1.3.

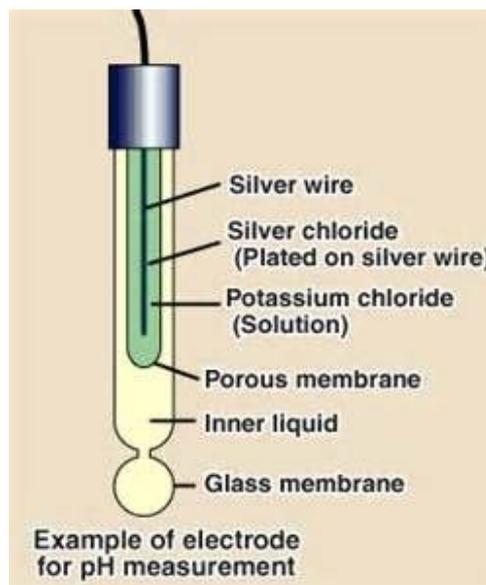


Figura 2.1.3. Principio funcionamiento de medidor de pH

Fuera de la instrumentación, pero no menos importante, también se ocuparan los **variadores de frecuencia** para la sincronía de las bombas y el principio de operación es el siguiente:

Los variadores de frecuencia son utilizados para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna. Éstos son vertientes de un variador de velocidad, ya que llevan un control de frecuencia de alimentación, el cual se suministra por un motor.

El variador de frecuencia se alimenta con un voltaje de corriente alterna (CA), el equipo primero convierte la CA en corriente directa (CD), por medio de un puente rectificador (diodos o SCR's), este voltaje es filtrado por un banco de capacitores interno, con el fin de suavizar el voltaje rectificado y reducir la emisión de variaciones en la señal; posteriormente en la etapa de inversión, la cual está compuesta por transistores (IGBT), que encienden y apagan en determinada secuencia (enviando pulsos) para generar una forma de onda cuadrada de voltaje de CD a un frecuencia constante y su valor promedio tiene la forma de onda senoidal de la frecuencia que se aplica al motor. En la figura 2.1.4, se observa el arreglo interno de un circuito anteriormente descrito,

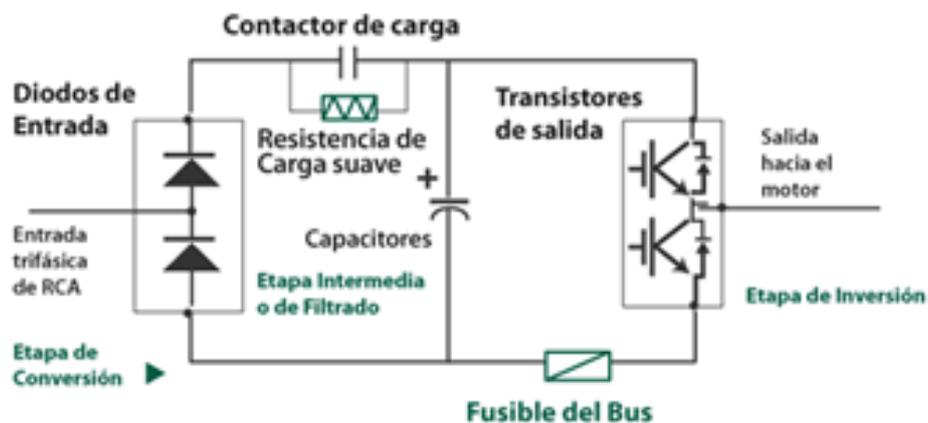


Figura 2.1.4. Diagrama del circuito básico del variador de frecuencia.

El proceso de conmutación de los transistores es llamado Modulación por ancho de pulso o comúnmente conocido como PWM (Pulse Width Modulation). En una señal o fuente de energía en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (senoidal ó cuadrada), ya sea para transmitir información a través de un

canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

Al tener control en la frecuencia de la onda de corriente se puede de también controlar la velocidad del motor de acuerdo a la siguiente fórmula 2.1.1:

$$N_m = \frac{120 \times f (1 - s)}{P}$$

Formula 2.1.1. Numero de revoluciones por minuto en función de la variación de la frecuencia

Donde:

N_m = velocidad mecánica (rpm)

f = frecuencia de alimentación (Hz)

s = deslizamiento (adimensional)

P = número de polos.

En la siguiente imagen, 2.1.5, se describe graficamente la conexión general del variador de frecuencia con el motor y se puede observar de manera grafica cómo se modifica la señal de entrada y salida.

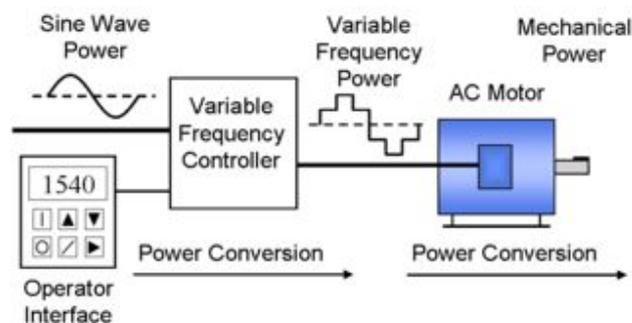


Figura 2.1.5. Control de frecuencia de un motor.

2.2 Tipo de control a aplicar en cada una de las secciones del proceso

Como ya se ha comentado con anterioridad, en el momento actual la planta opera de forma prácticamente manual, poco a poco se ha ido migrando de acuerdo a la necesidad que va surgiendo hacia un control semi-automático. Sin embargo, aún juega un papel sumamente importante la intervención del hombre en todos los procesos.

Desafortunadamente no se puede partir de cero para realizar un diseño nuevo de las líneas de producción involucrando controladores, sino que se debe partir de lo que ya se tiene para poder ir automatizando la fabricación ya que sería totalmente incosteable para la empresa el detener la producción y rediseñar sus procesos; así como realizar una compra masiva de todo lo requerido para realizar el diseño desde cero. Adicional a esto, la empresa se encuentra certificada ya en un Sistema de Gestión Integral, por lo que cualquier cambio en alguno de los procesos requeriría ser documentado y proceder de acuerdo a las normas en que se encuentran ya certificados, esto para no perder dicha certificación. Por ello es que se ha optado por adaptar partes de del equipamiento ya existente al control.

Una de las principales variables que se deberá automatizar es el porcentaje de dilución de la mezcla a una proporción de 10 a 1. En este momento, se establece la frecuencia como fija para la bomba de concentrado que limita el caudal de este compuesto. En base a este caudal, se ajusta manualmente la frecuencia de la bomba que suministra el agua para que se pueda obtener el porcentaje de dilución indicado. El inconveniente es que el caudal cambia conforme se van vaciando los tanques ya que el flujo va disminuyendo, por lo que se tiene que variar de manera manual la frecuencia de la segunda bomba a través de la cual se suministra el agua con la intención de que ambas confluyan con los flujos adecuados para lograr el porcentaje indicado de dilución.

En el nuevo proceso, se utilizará 5 depósitos independientes de 2.5 toneladas y cada uno albergará las sustancias necesarias para un depósito de concentrado; aunado a esto, se encontrará un depósito con las mismas características pero de agua desmineralizada, para lograr la mezcla del concentrado y su posterior dilución al porcentaje indicado.

Antes de determinar el tipo de control que es posible utilizar, vale la pena recordar de forma somera los tipos de control existentes y algunos principios básicos.

Un sistema de control es una interacción de componentes que proporciona una respuesta deseada. La base para el análisis de un sistema es el fundamento proporcionado por la teoría de los sistemas lineales, que supone una relación causa-efecto en sus componentes, por tanto, un componente o proceso que vaya a ser controlado puede representarse por un bloque tal y como se muestra en la figura 2.2.3.



Figura 2.2.3 Proceso a controlar

Este tipo de sistemas de control puede utilizar un regulador o actuador de control para obtener la respuesta deseada, tal como se muestra en la figura 2.2.4. Un sistema de malla abierta es un sistema sin retroalimentación.

En contraste, un sistema de control de malla cerrada utiliza una medida de la salida real para compararla con la señal deseada. La lectura de la salida se denomina "señal de retroalimentación". En la figura 2.2.5 se muestra un sistema de control con retroalimentación de malla cerrada.

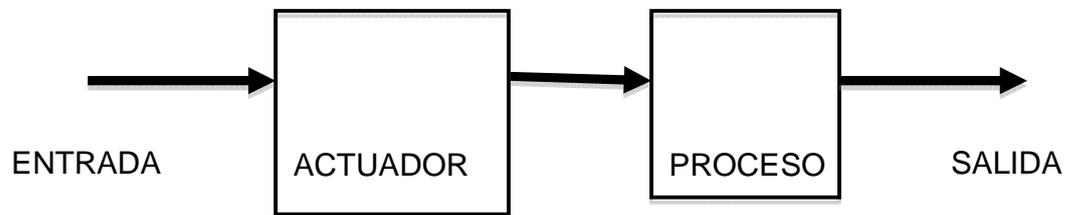


Figura 2.2.4 Sistema de control en malla abierta

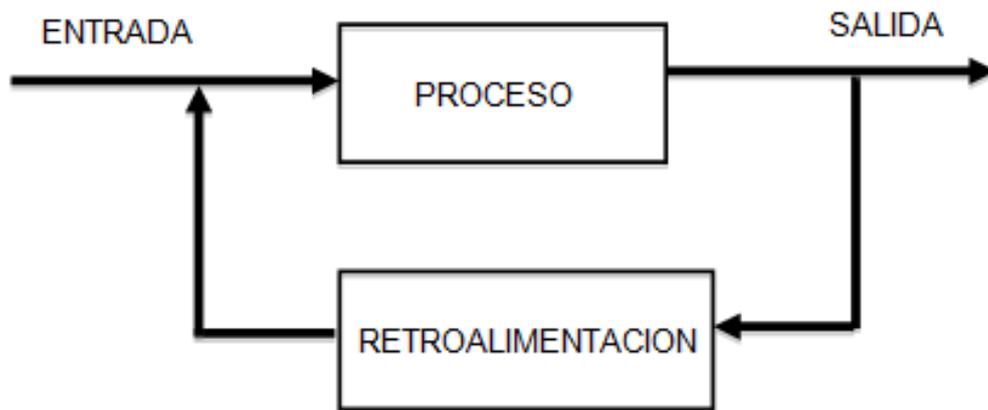


Figura 2.2.5 Sistema de control en malla cerrada

Para el proceso de dilución se plantea un controlador de malla cerrada, es decir, se fijará manualmente la frecuencia de una de las bombas, y a través de un controlador, la otra bomba involucrada en el proceso de dilución deberá seguir a la bomba a la cual se fijó la frecuencia de inicio, esto para garantizar que el porcentaje de dilución en todo momento sea el estabilizado en el porcentaje establecido independientemente de las variaciones en el nivel de agua o de concentrado que se encuentre en cada tanque.

La lógica principal de este control se llevará a cabo a través de un Controlador Lógico Programable (PLC).

La regulación de la frecuencia de la bomba, como se ha mencionado anteriormente, es a través de un panel HMI táctil donde se indica manualmente la frecuencia de la bomba para obtener el porcentaje de dilución necesario.

Adicionalmente a lo anterior, este control de malla cerrada deberá contar también con medidores de flujo, los cuales indicarán al controlador la cantidad de flujo que corre a través de las tuberías. Esta será otra entrada para el arreglo de control.

Otra entrada adicional para el control es el sensor de nivel, que dará la señal de arranque / paro del proceso, es decir, una señal que indique cuando el depósito se encuentre vacío y por lo mismo sea peligroso o no recomendable continuar con la operación de dicha línea.

Debido a que se pretende realizar la operación de forma completamente automática, también se debe controlar las válvulas de llenado. Una forma de realizarlo es a través del PLC y con válvulas de flujo abierto / cerrado, es decir, dichas válvulas se abrirán o cerrarán dependiendo tanto del nivel necesario en el tanque de acuerdo con las proporciones de la mezcla establecida. Como consecuencia de realizar un mal control en esta etapa se corre el riesgo de sufrir un golpe de ariete en la tubería.

Otra variable adicional de entrada a controlar es el PH de la mezcla. En este momento, la medición del mismo se realiza de forma manual en dos puntos diferentes del tanque mezclador para asegurar la homogeneidad de la mezcla. Esta medición manual se realiza de la forma tradicional, con papel tornasol y un comparador de tonalidad para verificar la acidez o alcalinidad de la mezcla. En algunas ocasiones también se genera con medidor de pH electrónico.

En resumen, las variables a controlar son frecuencia de las bombas (o velocidades), nivel (volumen de llenado de los tanques), control de válvulas y

medición de PH para asegurar el valor adecuado de acuerdo a la fórmula del producto.

El esquema de control que se plantea, es un sistema de malla cerrada, esto permitirá retroalimentar la señal de salida que se obtiene y así corregir el posible error de forma automática. Esto es, sin intervención alguna del personal, lo cual redundará en mayor precisión en la mezcla, mayor calidad y consistencia en el producto; además de disminuir riesgos de trabajo y a la salud de los operarios involucrados.

2.3 PLC - características, ventajas y desventajas.

El PLC es un dispositivo caracterizado por hardware y software que sustituye las funciones básicamente realizadas por los relevadores, diseñado para vigilar, detectar, controlar máquinas y señales secuenciales de un proceso específico y que se ejecutan principalmente en un ambiente industrial. Además de poder ser programables, son automáticos, es decir son aparatos que comparan las señales emitidas por la máquina o procesos y toman decisiones en base a las instrucciones programadas alojadas en algunos bits de la memoria, para mantener estable la operación en todo momento y en tiempo real.

También puede definirse como un sistema industrial de control automático ya que trabaja bajo una secuencia establecida y determinada por instrucciones lógicas basadas en eventos de dependencia.

En las figuras 2.3.1 y 2.3.2 puede observar el modelo esquemático de funcionamiento de un PLC y cómo interactúan sus entradas y salidas con el proceso.

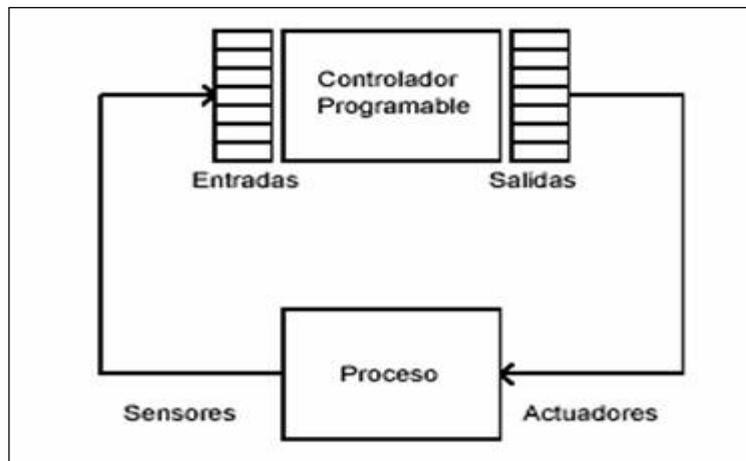


Figura 2.3.1 Diagrama de bloques funcionamiento del PLC.

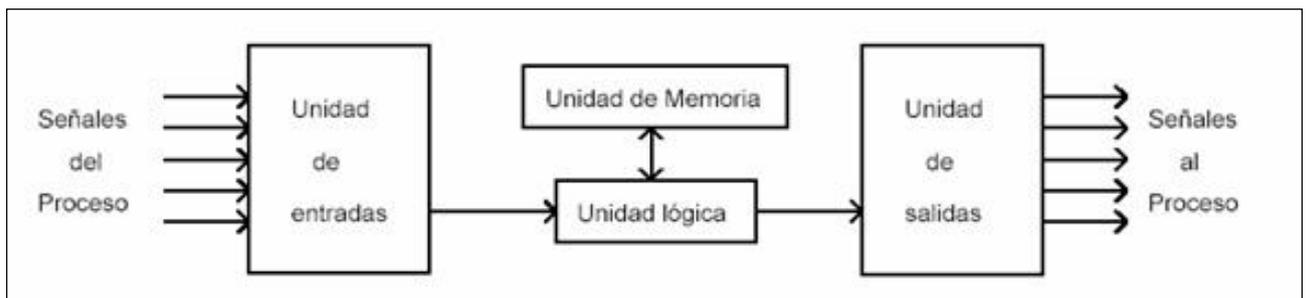


Figura 2.3.2 Esquema de funcionamiento del PLC.

Principios Básicos.

Los relevadores son el principio básico para entender al PLC; permitieron establecer mecánicamente una secuencia de operaciones, programar tiempos de retardo, detallar las veces que se producía un suceso o realizar una tarea en dependencia de que ocurrieran otras y la más importante memoria electromecánica.

Un relevador es un dispositivo completamente electromecánico, que funciona con un suministro de corriente y por medio de la excitación de un electroimán o bobina,

se acciona un juego de contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes es decir atraen una armadura móvil a la cual van unidos los contactos. El funcionamiento esquemático se observa en la figura 2.3.3

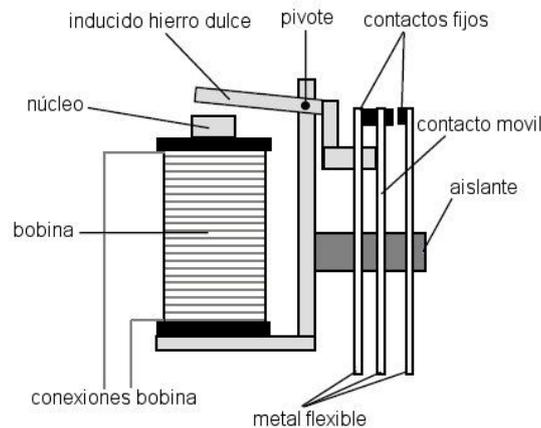


Figura 2.3.3 Esquema de funcionamiento de un relevador.

Los relevadores, sin embargo, tienen sus limitaciones. Dentro de sus defectos está el limitado e inferior tiempo de vida del dispositivo en comparación con dispositivos de estado sólido, debido a que sus partes mecánicas están sometidas a desgaste y que los conductores de corriente pueden quemarse o fundirse, lo que puede provocar una avería y requerir su consecuente remplazo.

Puede observarse un ejemplo típico de contactos con relevador en la figura 2.3.4.

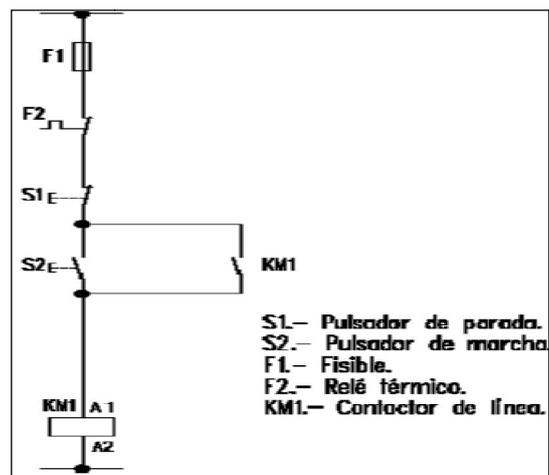


Figura. 2.3.4 Esquema de contactos.

Desde la perspectiva de programación, su mayor inconveniente es que la estructura de programación es fija. El panel de relevadores lo configuran los ingenieros de diseño, luego se construye y en base al diseño se cableaba. Cuando cambiaban las necesidades de producción, programación o tiempo se realiza un nuevo diseño y, por ende, un nuevo cableado.

Una aplicación para un sistema típico utilizaba un panel con un promedio de 300 a 500 relevadores y conexiones por cable, lo que suponía un costo muy elevado en instalación y mantenimiento del sistema, al igual que un área considerable para dicho panel.

Todos los que conocen los circuitos de control industriales realizados con contactos, saben que se pueden utilizar, como captadores, contactos eléctricamente abiertos o eléctricamente cerrados dependiendo de su función en el circuito. Este principio es el que se utilizó para inspirar al PLC como se conoce hoy en día y de aquí que el lenguaje más conocido para su programación sea el de escalera por su estrecha analogía a los contactos y su obediencia de decisión relacionada directamente con el comportamiento de la lógica de compuertas.

Características de funcionamiento del PLC.

Una vez que se pone en marcha el procesador del PLC, realiza una serie de tareas según el siguiente orden:

- Al encender el procesador ejecuta un auto-chequeo de encendido y bloquea las salidas. A continuación, si el chequeo ha resultado correcto, el PLC entra en el modo de operación normal.
- El siguiente paso lee el estado de las entradas y las almacena en una zona de la memoria que se llama tabla de imagen de entradas.

- En base a su programa de control, el PLC actualiza los bits de su memoria.
- A continuación el procesador actualiza el estado de las salidas "copiando" hacia los módulos de salida el estado de los bits; de este modo se controla el estado de los módulos de salida del PLC.
- Vuelve a ejecutar la lectura de los estados de las entradas y de esta forma se realizara el ciclo permanentemente).

El corazón de un PLC es la unidad lógica, la cual se basa en un microprocesador. Esta unidad ejecuta las instrucciones programadas en la memoria, para desarrollar los esquemas de control lógico que se han diseñado previamente.

Clasificación de PLC

Los PLC pueden clasificarse, en función de sus características en:

- PLC Nano: Generalmente es un PLC de tipo compacto (es decir, que integra la fuente de alimentación, la CPU y las entradas y salidas) que puede manejar un conjunto reducido de entradas y salidas.
- PLC Compacto: Estos PLC tienen incorporada la fuente de alimentación, su CPU y los módulos de entrada y salida (en un solo módulo principal). Esto permiten manejar desde unas pocas entradas y salidas hasta varios cientos. Su tamaño es superior a los PLC tipo Nano y soportan una gran variedad de módulos especiales, tales como: Módulos de entradas y salidas análogas, Módulos contadores rápidos, Módulos de comunicaciones, Interfaces de operador, Expansiones de entrada y salida (tanto digitales como analógicas).
- PLC Modular: Estos PLC se componen de un conjunto de elementos que conforman el controlador final. Estos son: El Rack, La fuente de alimentación, La CPU y Los módulos de entrada y salida.

Las ventajas de los PLC son las siguientes:

- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos.
- No es necesario dibujar el esquema de contactos.
- No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas ya que, por lo general, la capacidad de almacenamiento del modulo de memoria es lo suficientemente grande como para almacenarlas.
- La lista de materiales a emplear es reducida y, al elaborar el presupuesto correspondiente, se elimina parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega, etc.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado y añadir aparatos.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor costo de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento.
- Aumento de la fiabilidad del sistema.
- Eliminar contactos móviles.
- Posibilidad de gobernar varias maquinas con un mismo autómeta.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.
- Si por alguna razón la maquina queda fuera de servicio, el autómeta sigue siendo útil para controlar otra máquina o sistema de producción.

- La eliminación de contactos mecánicos se traduce en una mayor velocidad de operación y mayor tiempo entre averías.
- Los dispositivos de estado sólido presentan muchas ventajas con respecto a los relés, tales como, alta velocidad de operación, pequeño tamaño y bajo consumo de potencia.
- Recoger datos de las fuentes de entrada a través de las fuentes digitales y analógicas.
- Tomar decisiones en base a criterios pre programados.
- Almacenar datos en la memoria.
- Generar ciclos de tiempo.
- Realiza cálculos matemáticos.
- Actúa sobre los dispositivos externos mediante las salidas analógicas y digitales.

Las desventajas de los PLC son las siguientes:

- Hace falta un programador, lo que exige la preparación de los técnicos en su etapa de formación.
- La inversión inicial es mayor que en el caso de los relevadores, aunque ello es relativo en función del proceso que se desea controlar.
- Dado que el PLC cubre de forma correcta un amplio espectro de necesidades, desde los sistemas lógicos cableados hasta el microprocesador, el diseñador debe conocer a fondo las prestaciones y limitaciones del PLC.

- La gran desventaja de un PLC es que antes de automatizar una tarea en la industria, es necesario tener en cuenta todos los detalles de lo que se debe hacer para que nada salga mal.
- La tarea o el proceso dependen totalmente y enteramente del código de la programación.

2.4 Características del software de programación

- Introducción a la lógica de programación en el PLC

El lenguaje del PLC, como cualquier dispositivo electrónico, trabaja bajo el principio binario; en particular al concepto aplicado a las compuertas lógicas. Una compuerta lógica es un dispositivo que tiene una o más entradas la cual tomará una decisión lógica y brindará una salida que podrá representarse sólo en 1 o 0.

Las operaciones básicas son: AND, OR y NOT (Figura 2.4.1). Cada operación está determinada por una regla y representada por un símbolo. Al trabajar bajo la lógica binaria, el algebra booleana, es aplicable con combinaciones de estas compuertas con una salida especifica puede compararse con algún circuito sencillo. Este es el concepto básico de un PLC ya que debe ser capaz de tomar decisiones a partir de entradas (sensores o medidores, etc) y brindar una salida (actuadores, display, etc).

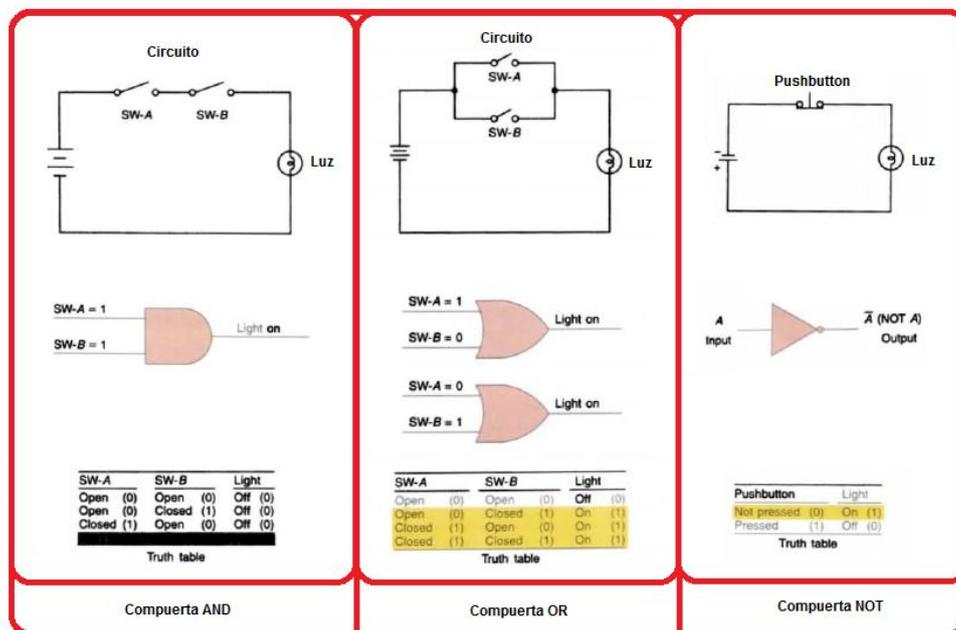


FIGURA 2.4.1. Operaciones básicas, símbolos y circuitos equivalentes

Un PLC tiene una programación gráfica que hace una representación a dicha lógica binaria, esta es llamada lenguaje de escalera. Este lenguaje es amplio y universalmente conocido en la industria.

Inicialmente los controles que pueden hacer los PLC eran realizados con complejos arreglos de relevadores, por lo que está basada en los antiguos esquemas de relevadores. Se muestran ejemplificaciones de lenguaje de escalera y comparación con su esquema de relevador, así como su función lógica en la figura 2.4.2.

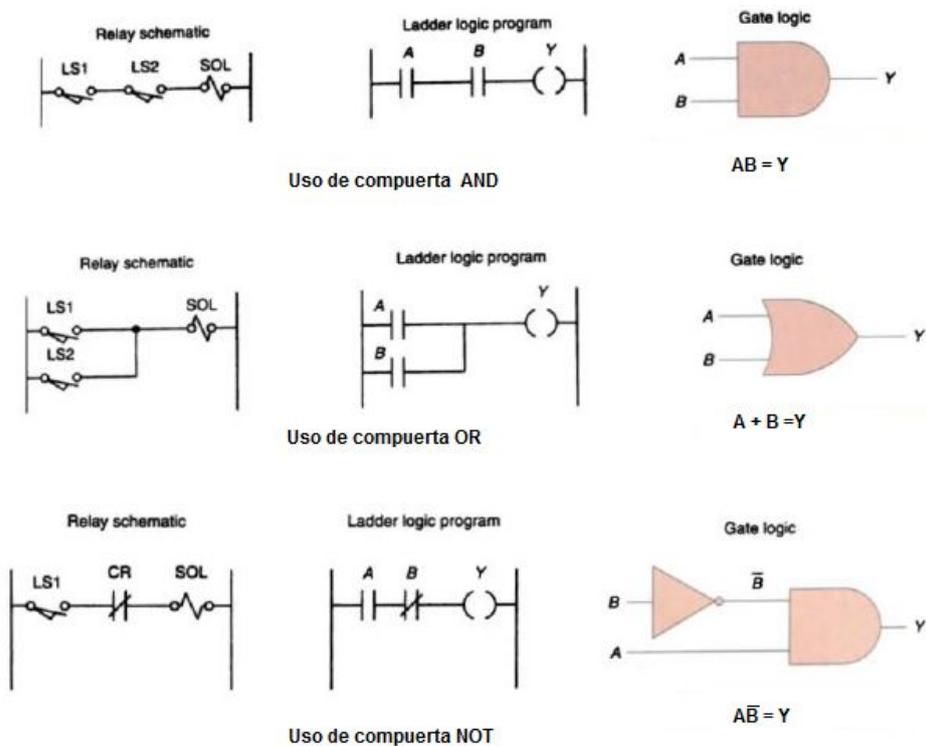
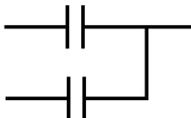
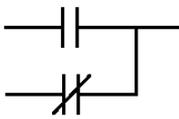
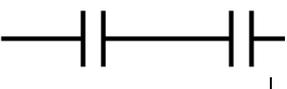
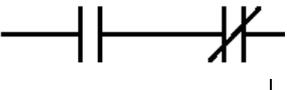
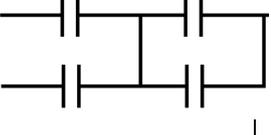
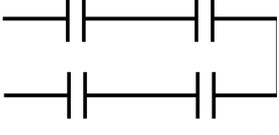
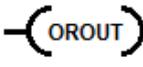


FIGURA 2.4.2. Representación escalera y relevador para compuertas lógicas

Hay muchas aplicaciones donde el algebra booleana puede ser aplicada para resolver problemas y de hecho pueden ser programados directamente usando instrucciones booleanas (Tabla 2.4.1).

TABLA 2.4.1	
Función e Instrucción Booleana	Símbolo Gráfico
Contacto Abierto (STD)(LD): Una rama adicional con un circuito normalmente cerrado	
Contacto Cerrado (STD NOT) (LD NOT): Una rama adicional con contacto cerrado normalmente.	
Or (OR): Se genera operación lógica OR a contacto normalmente abierto en paralelo con otro contacto.	
Or Not (OR NOT): Se genera operación lógica OR a contacto normalmente cerrado en paralelo con otro contacto	
And (AND): Se genera operación lógica AND a un contacto normalmente abierto en serie con otro contacto.	
And Not (AND NOT): Se genera operación lógica AND a contacto normalmente cerrado en serie con otro contacto.	
And Store (AND STR) – And Load (AND LD): Se genera operación lógica AND a dos ramas de un peldaño en serie.	
Or Store (OR STR) – Or Load (OR LD): Se genera operación lógica OR a dos ramas de un peldaño en paralelo.	
Salida – Out (OUT): Da las salidas en estado discreto al punto específico de la imagen del registro o localidad de memoria	
Salida Or (OR OUT): Múltiples instrucciones OR OUT referenciadas al mismo punto discreto.	
Output Not (OUT NOT): Apaga el salida para cuando condición brinda un ON y viceversa	

Existen diferentes marcas líderes en la fabricación de PLC y cada una utiliza su propio software (software propietario) basado en lenguaje de escalera popularmente pero con variaciones adicionales que incluyen conceptos básicos de programación como: temporizadores, contadores, rutinas y subrutinas, etiquetas y direccionamiento.

- **Características del software utilizado**

- **Interfaz:** El software utilizado será STEP 7 microwin de la compañía Siemens que es el compatible con el dispositivo seleccionado: PLC serie S7-200. Este software tiene interfaz basada en ventanas con opciones estándar como barras de menú, barras de herramientas y barras de navegación. Al igual que muchas interfaces de programación gráfica maneja árbol de operaciones y tabla de variables, tabla de símbolos para la programación gráfica y editor de programas. Vea figura 2.4.3

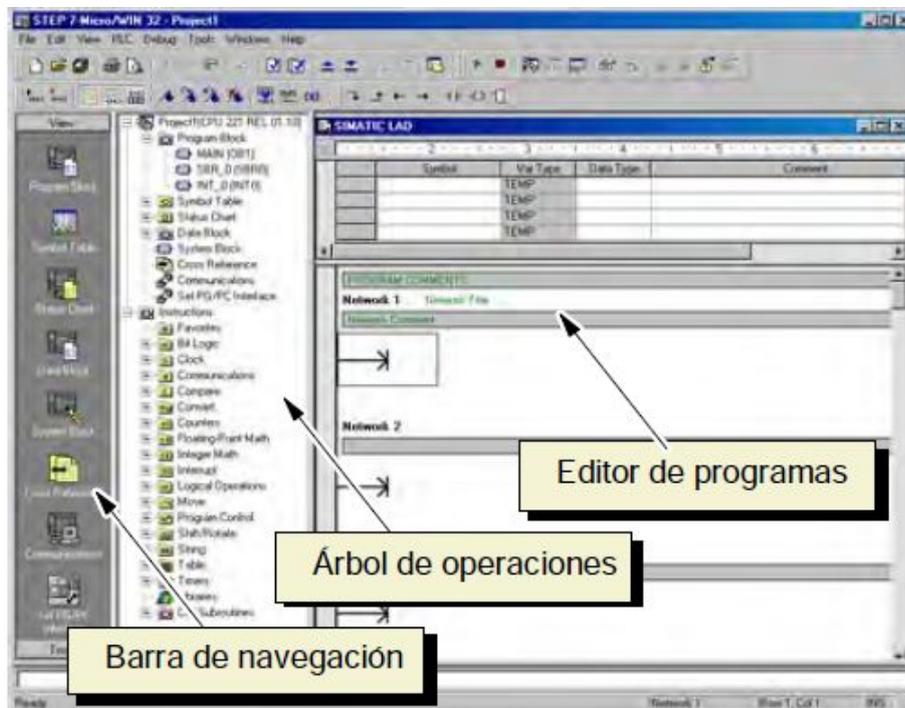


Figura 2.4.4. Pantalla de STEP 7 Microwin

- **Editor de Programas:** Dentro de este editor de programas se tiene opciones de visualización o programación que permiten complementar las opciones disponibles para lograr resolver problemas de control más complejo, estos son:
 - **KOP / LAD:** Este es el típico lenguaje gráfico de escalera en esquemáticos similares a los de relevadores, es decir, esquema de circuitos. En éstos emula la circulación de corriente eléctrica desde una fuente de alimentación, a través de una serie de condiciones lógicas de entrada que responden a operaciones lógicas y entregan una salida.

En el esquema KOP, la barra de alimentación izquierda está energizada, y por ende, los contactos cerrados permiten que la corriente circule a través de ellos, mientras que los contactos abiertos bloquean el flujo de energía. Estos segmentos son llamados redes. El programa ejecuta un segmento tras otro, de izquierda a derecha y luego de arriba abajo.

Las operaciones se representan mediante símbolos gráficos que incluyen tres formas básicas.

- Los contactos representan condiciones lógicas de entrada, como interruptores, botones o condiciones internas.
- Las bobinas representan condiciones lógicas de salida, como lámparas, arrancadores de motor o condiciones internas de salida.
- Los cuadros representan operaciones adicionales, como temporizadores, contadores u operaciones aritméticas.

Ventajas al programar en KOP
Facilita la programación para principiantes.
La representación gráfica es fácil de comprender y es universal al ser popular para este tipo de dispositivos
El editor KOP puede utilizarse en conjunto con otros editores como AWL.

- **FUP:** Este es un lenguaje gráfico que también se basa en lógica booleana pero a diferencia del lenguaje común de escalera no muestra contactos ni bobinas, muestra bloques. Sin embargo, el término “circulación de corriente” se utiliza para expresar el concepto análogo del flujo de señales por los bloques lógicos FUP. La ruta “1” lógica por los elementos FUP se denomina circulación de corriente. El origen de una entrada de circulación de corriente y el destino de una salida de circulación de corriente se pueden asignar directamente a un operando. La lógica del programa se deriva de las conexiones entre las operaciones de cuadro. Así pues, la salida de una operación (p. ej. un cuadro AND) se puede utilizar para habilitar otra operación (p.ej. un temporizador), con objeto de crear la lógica de control necesaria. Estas conexiones permiten solucionar numerosos problemas lógicos. Puede compactar la visualización cuando se tienen muchas operaciones en serie.

Ventajas de programar en FUP
El estilo de representación en forma de puertas gráficas es apropiado para observar el flujo del programa
El editor FUP puede utilizarse en conjunto con otros editores como AWL.

- **AWL:** Hay muchos problemas que el algebra booleana limita y hace complicado programar con los editores KOP ni FUP. AWL es el lenguaje textual nativo del S7-200 y permite utilizar operadores similares a ensamblador ya que es similar a las lista de instrucciones que seguirá el CPU. Este es la opción más completa de todas.

Al igual que ensamblador se ejecuta cada operación en un orden determinado utilizando una pila lógica. Así el usuario inserta las instrucciones en la pila en el orden que requiere.

Ventajas de programar en AWL
El lenguaje AWL es ideal para programadores avanzados.
AWL permite resolver problemas que no son posibles con KOP o FUP
Es importante saber que los lenguajes gráficos son traducibles a AWL pero no necesariamente al revés.

- **Árbol de operaciones:** Visualizan todos los objetos del proyecto y las operaciones para crear el programa de control. Para insertar operaciones en el programa, puede utilizar el método de “arrastrar y soltar” desde el árbol de operaciones, o bien hacer doble clic en una operación con objeto de insertarla en la posición actual del cursor en el editor de programas.
- **Editor de programas:** Contiene el programa y una tabla de variables locales donde se pueden asignar nombres simbólicos a las variables locales temporales. Las subrutinas y las rutinas de interrupción se visualizan en forma de fichas en el borde inferior del editor de programas.
- **Compilar proyectos:** como otras interfaces de programación, ésta permite poder compilar un proyecto. Por compilar se entiende que el programa generará una revisión de sintaxis y evaluará si hay errores. Si no hay errores mostrará una leyenda de “compilación finalizada”; en caso contrario, mostrará los errores de sintaxis que localice en el texto o segmento de la programación.

- **Ventajas y desventajas del software**

Ventaja	Desventajas
Tiene una interfaz basada en ventanas lo que la hace familiar al usuario.	Al ser un software propietario de Siemens no se puede interactuar con hardware de otra marca o viceversa.
Editor de textos permite usar varios lenguajes de programación.	Requiere licencia para el software.
La Interface punto a punto facilita la comunicación del hardware, lo que agiliza tiempos	
Permite compilar y emular proyectos para evaluar el rendimiento de la programación generada.	

2.5 Normas Nacionales Aplicables

Principalmente la Secretaría de Protección Civil y la Secretaría del Trabajo y Previsión Social son las que se encargan de velar por la seguridad e integridad de los trabajadores y demás personal, por ejemplo visitantes, que pueda encontrarse en un centro de trabajo. La Secretaría de Protección Civil trabaja a través de las unidades municipales de Protección Civil y obliga a las empresas con características de riesgo, a contar con un Programa Interno de Protección Civil debidamente implementado y autorizado por ellos anualmente, dentro del cual se incluye el contar con las instrucciones para actuar antes, durante y después de diferentes emergencias, la realización periódica de capacitaciones, simulacros y revisiones de señalización y equipos. La Secretaría de Trabajo y Previsión Social trabaja a través de unidades de verificación estatales y federales que se encargan de realizar visitas a las empresas, se entiende que cada centro de trabajo debe estar en cumplimiento con la normatividad aplicable, sea visitada o no.

Las normatividad a cumplir en esta materia es la siguiente:

NORMA Oficial Mexicana NOM-003-SEGOB-2011, Señales y avisos para protección civil.- Colores, formas y símbolos a utilizar.

Aplicable a este y todos los inmuebles donde haya riesgos que prevenir, pues las señalizaciones deben cumplir con ciertos criterios para que sean entendidas de la misma manera por todos. Esta norma se complementa con la NOM-026-STPS-2008, Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías. Esto implica la correcta señalización de los tanques donde se fabrica y almacena el quitamanchas líquido, así como el manejo y proceso de los químicos base y la tubería a través de la cual se alimentará y adicionarán los diversos componentes

NOM-001-STPS-2008, Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo - Condiciones de seguridad. Esta norma es aplicable por el hecho de contar con techos, pisos, escaleras, escalas, rampas y sistemas de ventilación artificial, además de sanitarios, vestidores y regaderas. Además de los requisitos que deben cumplir cada uno de estos elementos, esta norma indica que el centro de trabajo debe de contar con orden y limpieza, espacios delimitados y seguros para que el trabajador realice sus actividades y para el tránsito seguro de trabajadores y de vehículos, así como la realización de revisiones periódicas que dejen evidencia de su cumplimiento. Parte de las modificaciones que se proponen al realizar la optimización del sistema de adición de componentes es aprovechar y mejorar las instalaciones requiriendo menos componentes en depósitos al aire libre que pueda esparcirse o regarse al ser manipulado por el personal.

NOM-002-STPS-2010, Condiciones de seguridad - Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo. Se debe garantizar que el material, instrumentación y componentes se encuentren en perfectas condiciones, cuenten con clasificación adecuada para la zona de trabajo y no pongan en riesgo a las instalaciones o al personal.

NOM-004-STPS-1999, Sistemas de protección y dispositivos de seguridad de la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo. Esta norma es aplicable a este centro de trabajo debido a que cuenta con maquinaria y equipo que a su vez contiene partes en movimiento, calientes, electrificadas, punzantes y/o cortantes, por lo que para evitar que los trabajadores tengan contacto con ellas, deben de contar con las protecciones y dispositivos de seguridad pertinentes. También es aplicable debido a que se realiza mantenimiento de dichos equipos y para esta actividad deben tomarse en cuenta medidas precautorias, como el aviso previo, el bloqueo de energía y el uso de candado de seguridad, entre otras medidas también mencionadas en la norma.

El sistema de adición de componentes debe contar con todas las medidas de seguridad necesarias para prevenir o minimizar el daño que pudiese ocurrir así como facilitar su desconexión para intervenciones de mantenimiento.

NOM-005-STPS-1998, Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.

Por el giro de la empresa, esta norma es aplicable a la fabricación de producto que se labora pues se manipulan y almacenan gran cantidad de sustancias químicas de diferentes grados de riesgo, iniciando desde la recepción de materias primas y hasta el producto terminado. El centro de trabajo está obligado a contar con un análisis de riesgos de acuerdo a las sustancias que maneja y en conformidad con los resultados tomar las medidas de precaución aplicables como proporcionar instalaciones con regaderas, casilleros y vestidores, contar con regaderas, lavajos, neutralizadores e inhibidores en los lugares de riesgo, hojas de seguridad de cada una de las sustancias en el lugar donde se manipulan, botiquín de acuerdo a los riesgos presentes y una brigada siempre lista para actuar en caso de emergencia, contar con manuales de procedimientos que incluya todo momento en que se manipulen dichas sustancias, así como las características que deben tener los recipientes donde se almacenan estas sustancias y sus alrededores, y dentro de lo más importante, tener identificadas las sustancias en todo momento. La tubería y tanques donde se realice el almacenamiento y adición de sustancias y componentes deben cumplir con las condiciones necesarias. Un punto importante al respecto es que por medio de la optimización del sistema el personal entrará menos en contacto con sustancias peligrosas y reactivas por lo que el grado de riesgo disminuirá.

NOM-006-STPS-2000, Manejo y almacenamiento de materiales - Condiciones y procedimientos de seguridad.

Esta norma es aplicable debido a que además de las sustancias químicas, también se manipulan otros materiales, para lo cual es necesario aplicar algún esfuerzo, ya sea del trabajador (como en una carga manual) o con el uso de alguna maquinaria (como los montacargas o patines que se utilizan en el proceso).

NOM-009-STPS-2011, Condiciones de seguridad para realizar trabajos en altura. Esta norma aplica a centros de trabajo donde se realizan actividades a más de 1.8 metros sobre el nivel de referencia (un piso estable). Debido a que existen actividades de mantenimiento las cuales se realizan en estas condiciones: usando escalas, andamios y por medio de suspensión de trabajadores incluso al entrar a los tanques para realizar limpieza o modificaciones por lo que debe tenerse en cuenta al realizar la optimización e instalación de instrumentos de medición.

NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal - Selección, uso y manejo en los centros de trabajo.

Esta norma es aplicable a todos los centros de trabajo y este no es la excepción, la empresa, para cumplir con ella cuenta con un estudio de riesgos por puesto de trabajo, del cual deriva el equipo de protección personal que debe utilizarse. Debido al giro de la empresa, destaca el uso de tapones de seguridad, casco, mascarillas, guantes y zapatos de seguridad antiderrapantes.

NOM-018-STPS-2000, Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. NOM-028-STPS-2004, Organización del Trabajo-Seguridad en los Procesos de sustancias químicas.

Esta norma es aplicable a los centros de trabajo en los que se manejan, transportan o almacenan sustancias químicas peligrosas, caso de la empresa en cuestión. La empresa cumple al asegurar que todas las sustancias químicas que se utilizan son identificadas de acuerdo a los estándares que marca la norma, así como al asegurar que su nivel de riesgo (ya sea de inflamabilidad, reactividad, a la

salud u otros riesgos especiales) es comunicado, de igual forma utilizando los estándares que marca la norma (modelo de rectángulo o modelo de rombo). Esto también aplica a los tanques en los que se almacenarán las diversas sustancias que se deben adicionar y los recipientes respectivos

NOM-026-STPS-2008, Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.

Por la naturaleza de esta empresa, existen diversas tuberías que corren de lugar a lugar, las sustancias químicas que transportan son identificadas en cuanto a contenido, peligrosidad y dirección del flujo, de manera que siempre se sepa cuál es el riesgo de manipular alguna de ellas, o bien, cual puede ser de ayuda en caso de emergencia por lo que se debe asegurar cumplir con esta norma durante todo el proyecto.

NOM-029-STPS-2011, Mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo - Condiciones de seguridad.

Esta norma es aplicable en la empresa, únicamente en los trabajos de mantenimiento, y durante la intervención que se realice al equipo ya instalado y que será optimizado por lo que es importante cumplir con ella

NOM-030-STPS-2009, Servicios preventivos de seguridad y salud en el trabajo - Funciones y actividades.

Esta norma aplica a todos los centros de trabajo.

Norma Oficial Mexicana nom-189-ssa1/scfi-2002, Productos y Servicios. Etiquetado y envasado para productos de aseo de uso domestico

Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.

Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

De manera que también debe prevenirse cualquier tipo de fuga en el sistema y, en caso de ocurrir, se debe contar por parte de la empresa con procedimientos para su contención, recolección y deshecho de manera adecuada.

La empresa donde se encuentra el sistema de adición de componentes cuenta con varias y diversas certificaciones cuya finalidad es avalar y garantizar la seguridad del personal, las instalaciones, el medio ambiente y la calidad del producto buscando reducir el impacto ambiental. Es por ello que la optimización debe cumplir con dicha normatividad ya que el no hacerlo resulta con el paso del tiempo en “No Conformidades”, sanciones y problemas mayores.

3.1. Proceso actual sobre proceso propuesto

Anteriormente se ha descrito a detalle el proceso actual con la intención de establecer las desventajas que muestra para el proceso y las áreas de oportunidad que puede brindar para una mejora en el mismo.

Se mostrará una descripción breve de las etapas del proceso propuesto.

El proceso propuesto maneja 4 tanques de preparado concentrado base. Esta base está generada únicamente con los elementos afines en las dos presentaciones.

También se busca automatizar la adición de componentes afines a la mezcla base que normalmente son agregados a mano y que vienen en presentaciones sólidas o polvo y que requieren por ende de personal que las dosifique.

A partir de que el preparado esté listo, se proponen dos arreglos de tubería funcionando de manera paralela con la intención de que, en momentos de emergencia, se use alguno de ellos como un respaldo para que la línea de producción siga activa.

Es dentro de esta etapa en la que se genera la dilución y la adición de componentes que generan la mezcla base del producto final.

El sistema de selección de producto final será configurable desde el inicio del proceso asegurando que la dilución este en la correcta proporción basándose en un control de lazo cerrado que obtendrá retroalimentación de medidores de flujo y actuará sobre las válvulas del tanque de agua desmineralizada y tanques de componentes adicionales (abrillantador, color, aroma)

Finalmente el producto es repartido a los tanques de almacenamiento para distribución a las líneas de empaquetado y llenado, dependiendo de la presentación.

En la figura 3.1.1 y 3.1.2 se muestra los esquemas del proceso anterior y proceso actual para usarse como referencia.

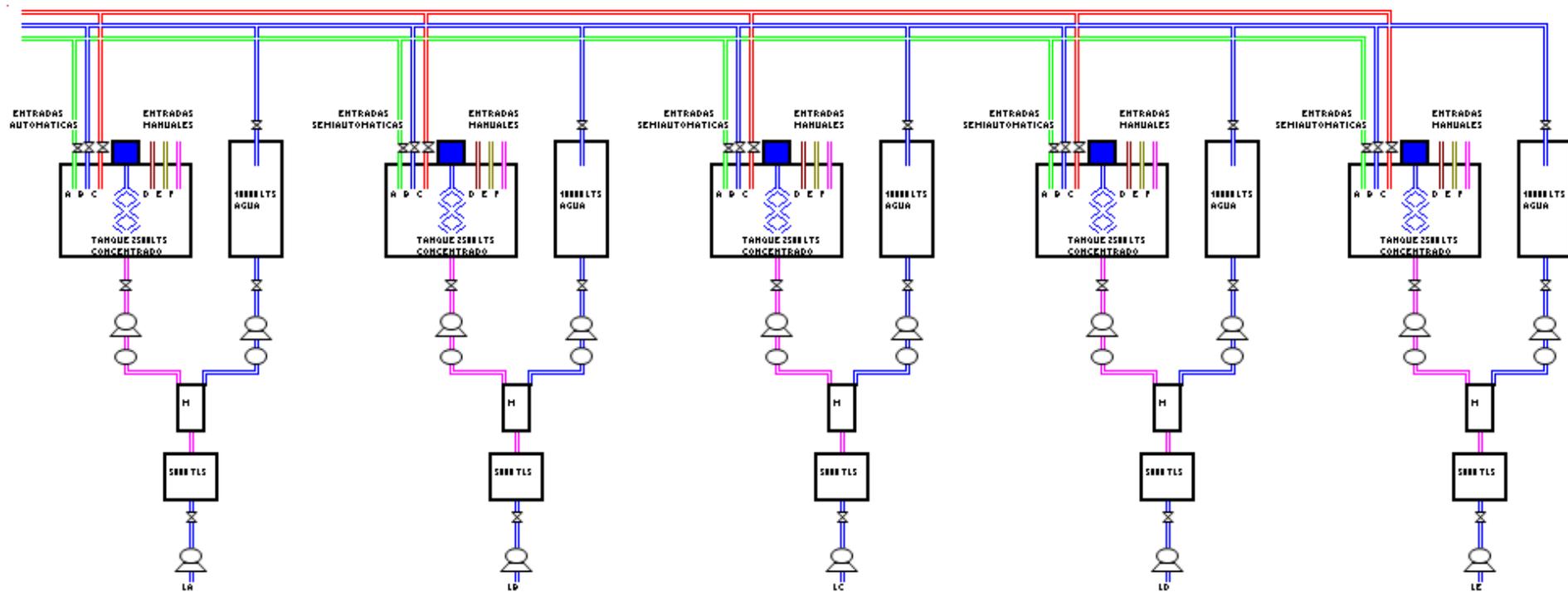


Figura 3.1.1. Diagrama del Proceso Actual

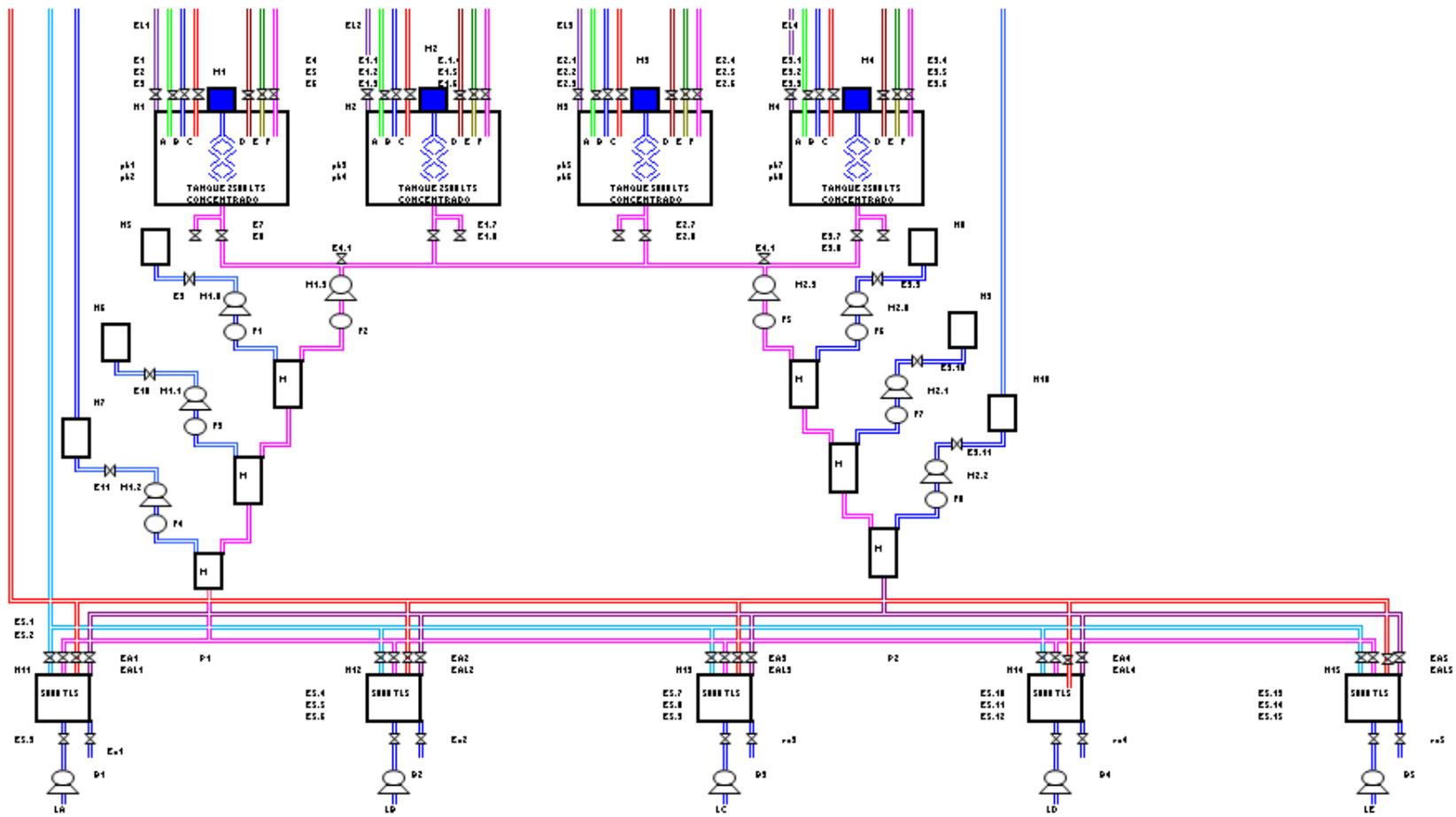
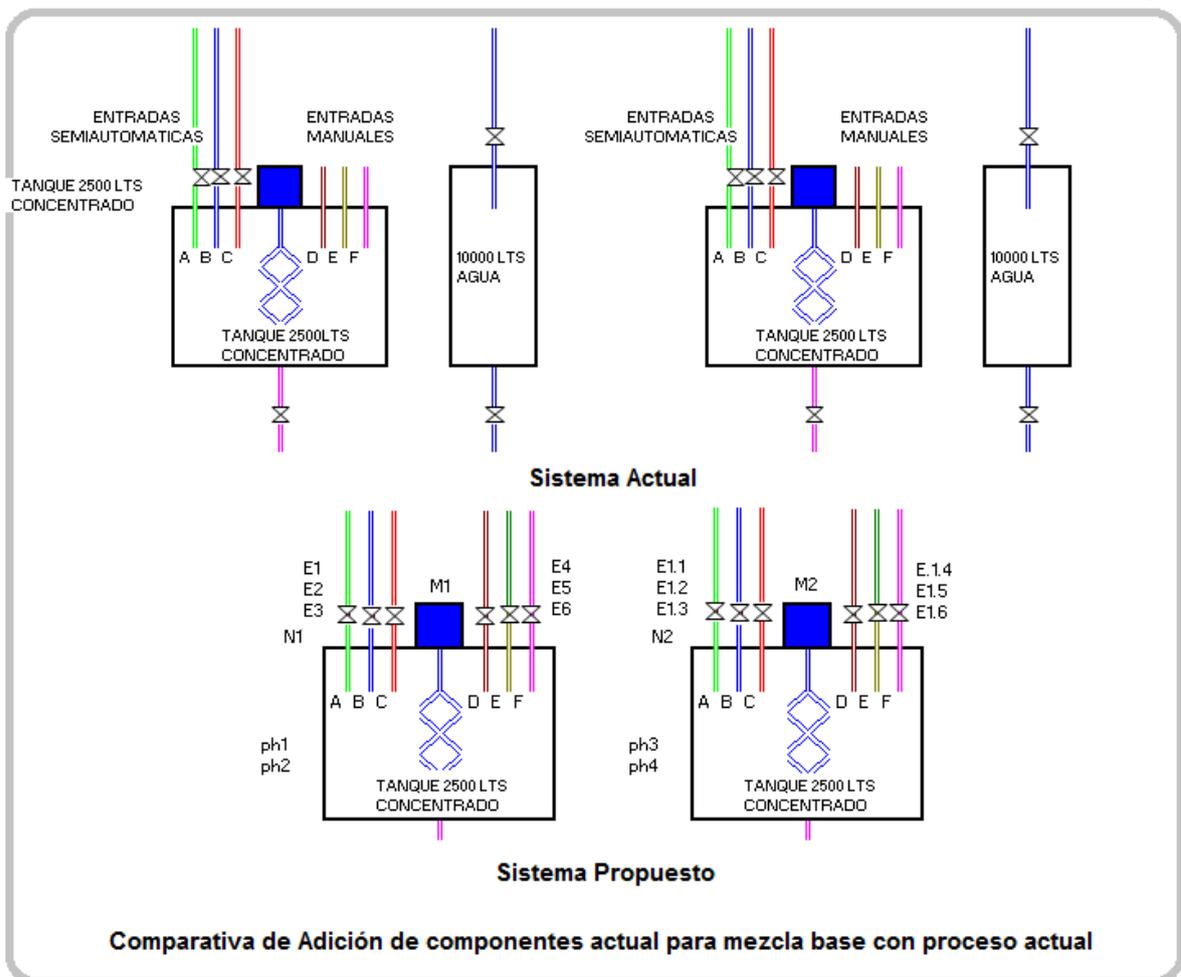


Figura 3.1.2. Diagrama del Proceso Propuesto

Comparativa entre la adición de componentes actual y la propuesta

Por motivos de espacio y para hacer posible la descripción, se están agregando imágenes que representan la mitad del proceso. La otra mitad del proceso se obtiene como espejo del mostrado en las imágenes.

Como puede verse en la figura 3.1.2, en comparación con el proceso propuesto la mayoría de los componentes eran adicionados de manera manual; al contrario, la versión actualizada es manejada por un control automático de válvulas para la adición de componentes que son agregados automáticamente previa programación.



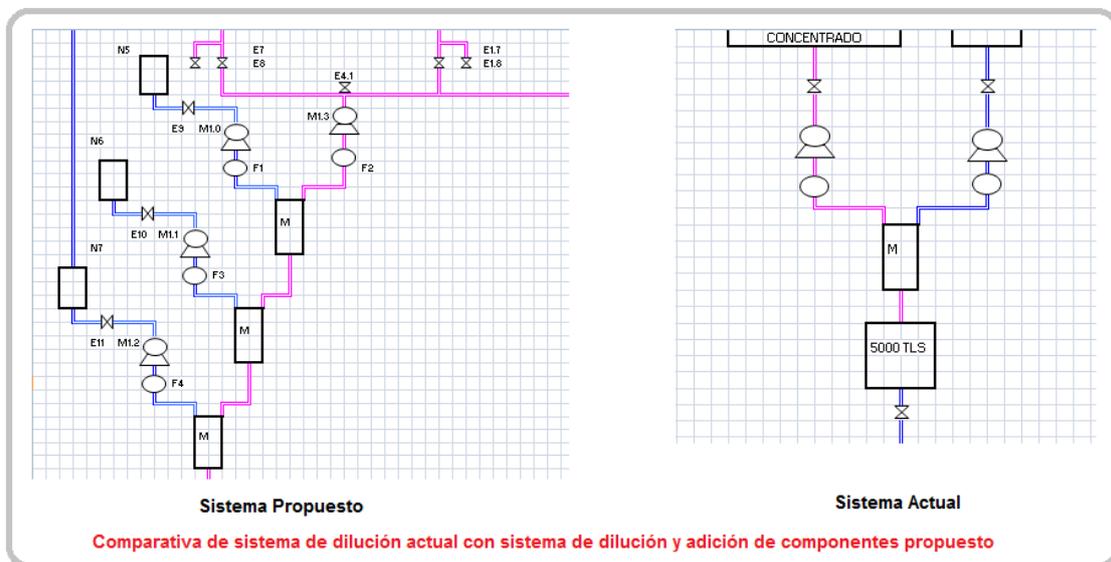
3.1.2. Comparativa de adición de componentes propuesta contra la actual

En el proceso actual se define el producto final desde esta etapa, lo que no sucede con el proceso propuesto. En éste, los componentes de la mezcla generan una base que definirá el producto final en otra etapa del proceso, lo que permite mayor versatilidad.

Comparativa entre el sistema de dilución de concentrado actual y el propuesto.

Es importante remarcar que en el proceso propuesto se está dejando de lado la idea de generar un granel único de un producto como se hacía en el proceso anterior. Esto obliga a que la comparación por partes del proceso no sea tan puntual.

En la figura 3.1.3 se observa que se tiene otro núcleo de adición de componentes en la opción propuesta ya que es en este donde se define el producto final, después de este viene el sistema de dilución.



El control de dilución actual trabaja a lazo abierto por lo que debe atenderse y monitorearse por un operador quien inclusive debe manipular válvulas para mantener el estándar de 10% de concentrado. Mientras tanto, el esquema de

control planteado se basa en un control a lazo cerrado lo que permite retroalimentar la señal de salida y corregir el error automáticamente sin uso de personal

Comparativa entre la distribución al empaquetado o embotellado actual contra el propuesto.

El proceso actual, como puede verse en la figura 3.1.1 que muestra todo el proceso, tiene asociada a cada línea de producción una empaquetadora o embotelladora. Lo que no sucede con el esquema propuesto que también permite disponibilidad de varias empaquetadoras simultáneas o cambiar entre ellas.

Para sintetizar la importancia del esquema propuesto se muestra la siguiente tabla con la conclusión de mejoras:

Conclusiones de mejoras	
Mano de obra	Reducción de personal que elabora mezcla base o monitorea dilución.
Disponibilidad de variedad de producto	Al generar un granel base se puede especificar el producto final cuando se necesite sin necesidad de establecerlo desde el principio del proceso.
Disponibilidad de presentaciones	Puede elegirse el tipo de empaquetadora o embotelladora que se utilizará.

3.2 Requerimientos generales y particulares del usuario.

Por definición un requerimiento es la condición o capacidad que debe tener un sistema para responder a las necesidades del mismo.

En esta definición hay dos tipos de requerimientos que se presentan en este proyecto:

- **Requerimientos de usuario:** Todas aquellas personas que utilizarán el sistema. Este tipo también se define como requerimientos particulares, ya que son las dudas, inquietudes y deseos puntuales de los operarios que son quienes de forma cotidiana operan con el sistema.

- **Requerimientos de la empresa:** Son los directivos quienes solicitan el sistema y son los responsables de su validación o aprobación. Este tipo de requerimientos se definirán como requerimientos generales, ya que son las directrices de forma amplia que marca la empresa para la solución del problema práctico.

Es importante distinguir entre estos dos grupos de interesados, dado que muchas veces pueden encontrarse diferencias o bien oposiciones entre lo que cada entidad necesita o requiere, así como a la prioridad que se le dará a cada uno de ellos. En la mayoría de los casos, los requerimientos de la empresa tienen prioridad sobre los de los usuarios. Cabe aclarar que la primera petición de toda empresa es solucionar el problema que se tiene en ese momento al menor costo, mayor velocidad y mejor eficiencia posible sin alterar de manera drástica la estabilidad laboral que existe, en este caso, inclusive, sin impactar negativamente los procesos propietarios para evitar poner en riesgo la Certificación en Sistemas de Gestión Integral recién obtenida.

Características de los requerimientos

Un requerimiento debe cumplir ciertos criterios y características, el mismo deberá ser:

- **Único:** Debe poder ser interpretado inequívocamente de una sola manera.
- **Verificable:** Su implementación debe poder ser comprobada.
- **Claro:** Los requerimientos no deben contener terminología innecesaria. Deben ser establecidos de forma clara y simple.
- **Viable (real y posible):** Debe ser factible y realizable según las restricciones actuales de tiempo, dinero y recursos disponibles o de acuerdo a las directivas, lineamientos o alianzas de la empresa.
- **Completo:** Debe ser especificado teniendo en cuenta todas las condiciones que puedan ocurrir.
- **Lógico y coherente:** Debe ser congruente y coherente con la realidad, sucede en muchas ocasiones que al entrevistarse con los operarios en particular se obtienen requerimientos que son prácticamente imposibles de cumplir, o al menos cumplir dentro de los parámetros marcados con la empresa. Es de suma importancia desde este punto aclarar a la gente de línea que no se implementará un sistema mágico a través del cual ellos perderán toda responsabilidad, es importante presentar el sistema como una ayuda para realizar sus labores cotidianas. Es decir, la automatización no exime al personal de las responsabilidades que actualmente tiene.

Se parte de que el usuario de manera general es representado por la empresa cuyos requisitos están basados en especificaciones de calidad, seguridad, aspectos e impactos ambientales, así como los requerimientos particulares del usuario final (operario), los cuales se refieren a la facilidad de operación y despliegue de información y alarmas.

Estos requerimientos serán utilizados como punto de referencia para el control a realizar, así como a la interfaz requerida para que el usuario pueda obtener un seguimiento exacto y puntual del sistema.

Para poder determinar los requerimientos del usuario, es necesario sostener una reunión con la alta dirección, la cuál de forma general proporcionará los lineamientos para el desarrollo del sistema (requisitos generales, limitantes en costos, preferencias en cuanto a fabricantes, parte del proceso que se desea automatizar, interacción del proceso presente con otros procesos, etc.), así como reuniones puntuales con los operarios que a fin de cuentas serán los encargados del manejo del sistema diseñado para poder determinar el tipo de interfaz a utilizar. De estas reuniones se pudo obtener la siguiente información:

REQUERIMIENTOS GENERALES

Por parte de la empresa:

- Que se puedan obtener estadísticas del sistema y su operación.
- Que el montaje y conexión del sistema sean seguros y cumplan la normatividad vigente.
- Que se puedan ejecutar rutinas de mantenimiento preventivo y correctivo de forma sencilla.
- Que se presenten de forma clara los datos técnicos del proceso en algún dispositivo de forma visual (pantalla por ejemplo)
- Que la configuración del sistema sea lo más sencilla posible.
- Que se puedan visualizar los avisos de operación de la línea de producción, y que las alarmas necesarias sean audibles.
- Que en el caso que se presenten fallas de energía o reinicios automáticos, al momento de reiniciar el proceso siga a partir del punto donde sufrió el paro.
- Que se pueda generar un paro en caso de emergencia en todo el sistema.
- Que la automatización del sistema no atente contra la Certificación obtenida, y el sistema quede documentado completamente dentro del manual de procedimientos propio de la planta.

REQUERIMIENTOS PARTICULARES:

Por parte del operario:

- Que se pueda probar el sistema en tiempo real previo a su implementación en la línea de producción.
- Que se pueda modificar una o más variables dentro del proceso de acuerdo a las necesidades comerciales u operativas de la línea de producción.
- Que se pueda visualizar en algún dispositivo la parte del proceso que se está ejecutando.
- Que el sistema sea compatible con las fórmulas utilizadas para la fabricación del producto, es decir, que el sistema pueda soportar los compuestos químicos a utilizar.
- Que se pueda contar con alarmas visuales y auditivas que informen del avance del proceso.

Resumiendo lo obtenido de estas reuniones, se puede generar un listado concreto de lo que se requiere en general, por lo que se obtiene la siguiente lista de requerimientos para trabajar en ellos durante el diseño del sistema:

- Se debe de poder realizar programación o modificaciones generales desde una PC estándar con las que cuenta la empresa, no se adquirirá nuevo equipo en este rubro.
- Se debe poder desplegar el diagrama del proceso en una pantalla, preferiblemente Touch Screen o algún otro medio visual para facilitar la comprensión del proceso por parte de los operarios.
- Se deberá dar acceso al administrador de este sistema para que pueda fijar parámetros de acuerdo a cambios en la fórmula química, dilución, fragancias y colorantes, así como para generar paros de emergencia, reinicios y demás situaciones fuera de lo común que pudieran presentarse. Sería ideal que pudiera contar con alguna contraseña para evitar el riesgo de que cualquier persona pueda detener la línea de producción.
- El sistema deberá ser sencillo en su mantenimiento, de hecho deberá requerir el mínimo mantenimiento posible.

- Como desde este punto se visualiza como la opción más viable el uso de un PLC para controlar el sistema, se pide que en caso de utilizarlo el proyecto se diseñe preferentemente con la marca Siemens, ya que la empresa en algunos otros procesos cuenta con este tipo de PLC, concretamente el S7-200, esto generaría una cierta homologación con los equipos existentes en la planta. De acuerdo a las notas tomadas en las reuniones con la alta dirección y los operarios, así como el resumen obtenido, se concluye que para lograr la implementación, se deberá contar con equipo tal como:

- Una computadora con sistema operativo Windows y Step 7/Micro 4.
- 1 PLC, S7-200, CPU 226.
- Cable de interfaz PC/PPI.
- Un simulador de entradas.
- 1 cable comunicaciones RS 485.

Tomando en consideración todo lo anterior, se procederá a realizar una aproximación inicial al diseño del sistema. Como se podrá observar en el inciso 3.4, donde se hablará sobre la elección específica de los sistemas de control e instrumentación a utilizar., y en el capítulo 4 donde se determinará la elección tanto del PLC como los equipos de control que se implementarán.

3.3 Diagrama de bloques y pantallas sugeridas al usuario de las variables involucrada.

En las figuras siguientes se puede observar un esquema general para la propuesta y las bases de construcción para hacer la interacción entre el proceso, la maquina y el operador con la intención de que el sistema coexista y tenga la armonía necesaria.

La primera pantalla figura 3.3.1 hace la referencia al proceso de preparación de la mezcla y se enuncian sus variables involucradas en la figura 3.3.2 En esta será importante poder tener una visión clara de los componentes que se adicionan a la hora de hacer la preparación, el avance de la preparación y los niveles del tanque

en todo momento, cabe mencionar que esta pantalla es la base para la construcción de otras 4 iguales, esto debido al número de tanques.

Botones propuestos y funciones de la pantalla de preparación.

- **Limpieza de tanque:** Muestra en la pantalla el indicador de “limpieza lista”. Una vez realizada la limpieza del tanque, se habilitará la opción en pantalla de “Inicio de preparación”.
- **Inicio de preparación:** Comienza a surtir los materiales según la tabla 3.3.8 y deberá desplegar en que paso se encuentra; así como el nivel y los materiales que está dosificando.
- **Pausa:** Se usa en caso de querer hacer una pausa en la preparación y deberá mostrar una alerta de pausa en la pantalla, sólo detiene la preparación.
- **Paro:** Esta opción igualmente detiene el sistema, pero la diferencia radica en que lo hace para todo el sistema.
- **Reinicio con clave:** Esta habilitara la válvula de servicio E2.7 y drena totalmente el tanque, posteriormente hace un lavado y nuevamente estará listo para una nueva preparación.
- **Tanque listo:** Esta opción y botón se habilitan una vez que la preparación llego a su fin y esta correcta, presionando esta opción. Se deshabilitaran todas las anteriores y estas se habilitaran hasta que este marque 3% en su nivel.

Indicadores de la pantalla de preparación.

- **Nivel:** Muestra en nivel del tanque porcentualmente.
- **pH:** Indica el nivel en todo momento.
- **Cuadro de mensajes:** Despliega los mensajes importantes del proceso; así como el paso en el que se localice, referido a la tabla de pasos 3.3.7.

- **% de Preparación:** Éste habilita según al avance de la preparación en conjunto con el cuadro de mensajes.
- **Indicador de número de tanque:** Muestra el número de tanque en el cual se están realizando las labores.

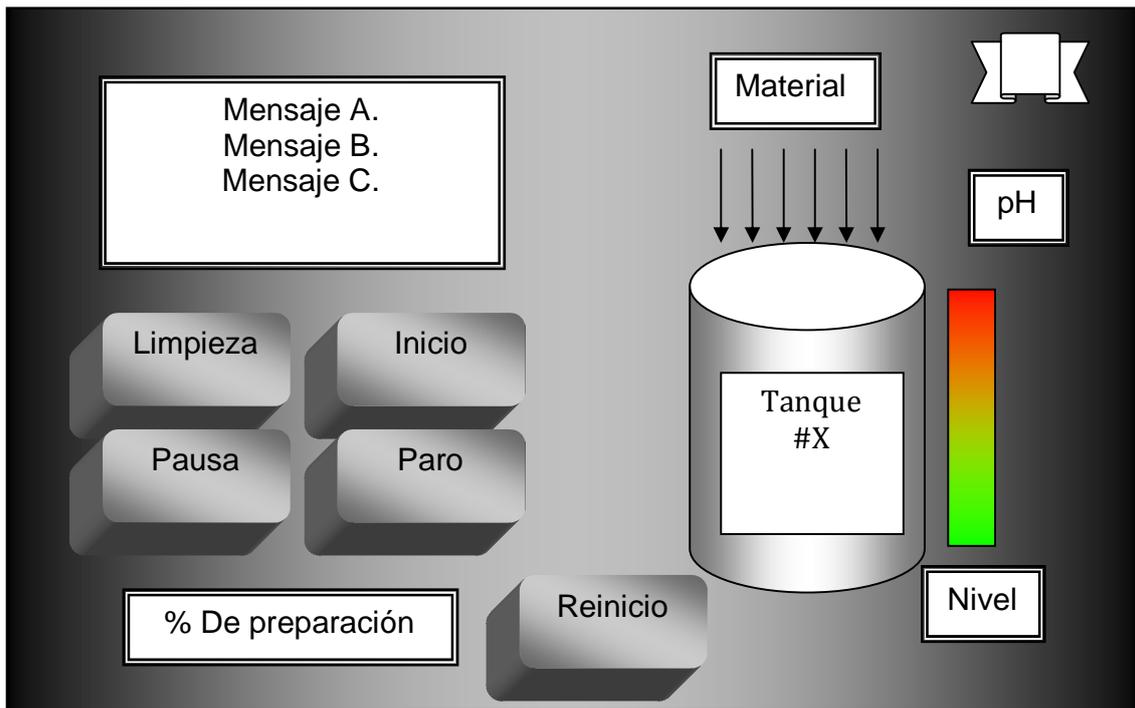


Figura 3.3.1. Referencia de pantalla de preparación.

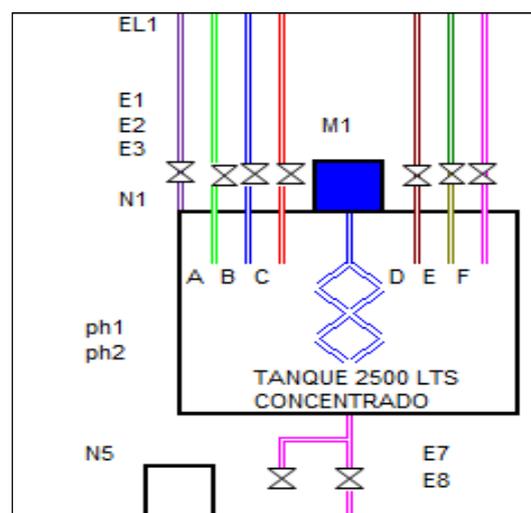


Figura 3.3.2 Diagrama de preparación con variables involucradas.

Una pantalla sumamente importante en el proceso será la que describe la forma de dilución del concentrado, como se muestra en la figura 3.3.3, y en la que se exponen sus variables de proceso (figura 3.3.4). Cabe mencionar que existirán dos pantallas iguales que harán la dilución ya que se tienen dos productos distintos a la salida.

Botones para la parte de dilución.

- **Botón inicio de dilución:** Este botón generalmente estará activado ya que la dilución será prácticamente automática siempre que esté disponible algún tanque con concentrado.
- **Pausa de dilución:** Este botón será agregado para hacer algún paro rápido y temporal requerido.
- **Paro:** Este botón será necesario para hacer el paro total del sistema.

Indicadores para la pantalla de dilución.

- **Indicador de nivel:** Disponible para cada tanque.
- **Indicador de tanque aprobado o no disponible:** Si éste está habilitado o no para tomar producto para su dilución.
- **Indicador de presión en tubería.** Indicará que la presión de la línea ha bajado y mandará activar las bombas del sistema de dilución de acuerdo con las variables de la figura 3.3.4.

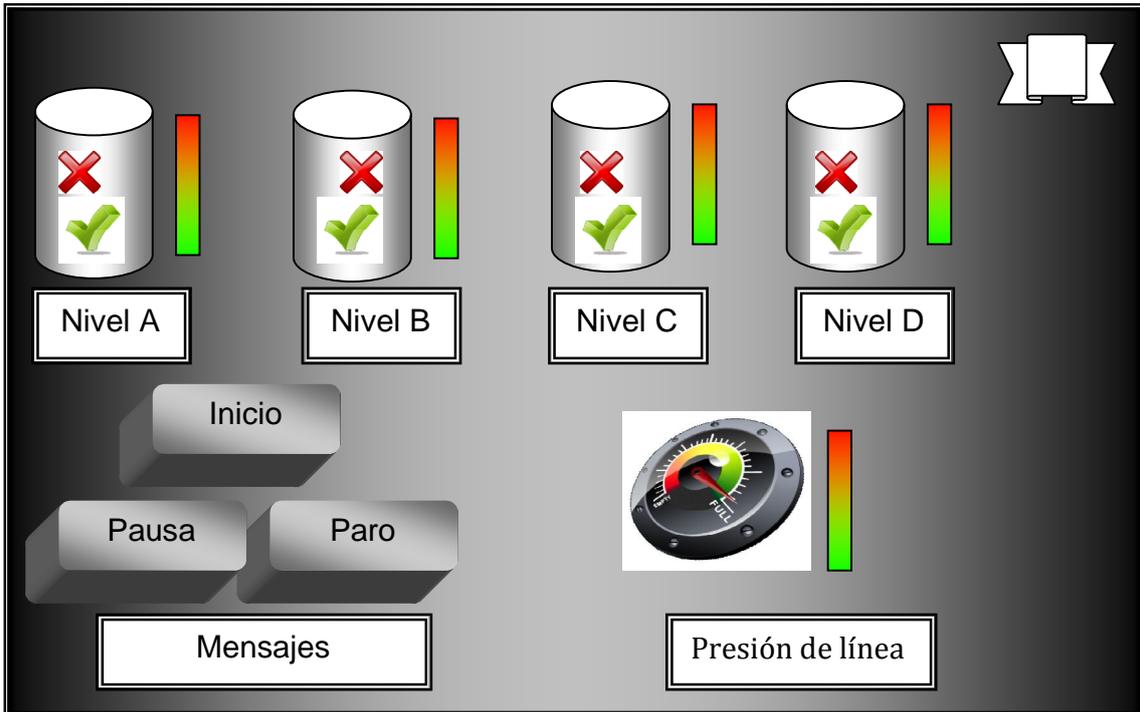


Figura 3.3.4. Propuesta de la pantalla de dilución en el sistema.

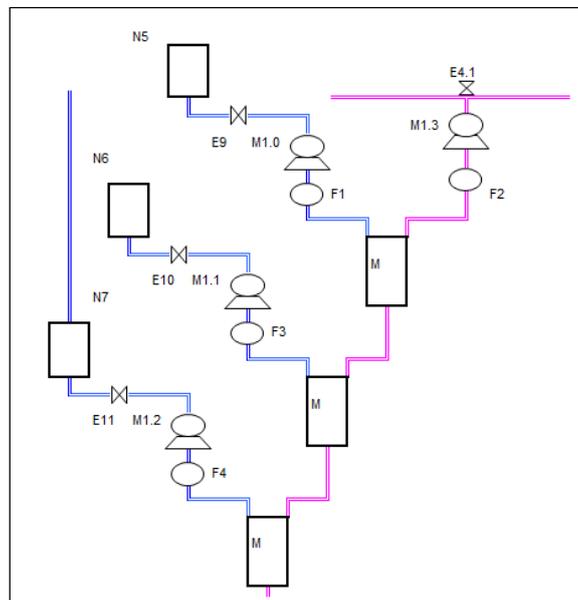


Figura 3.3.4 Diagrama de dilución con variables involucradas.

Por último, la siguiente pantalla brindará información, al operario a cargo del sistema, sobre la disponibilidad del producto a la hora de dosificar hacia las líneas con la intención de facilitar la selección, la etapa propuesta se muestra en la figura

3.3.5, En general en esta pantalla se hace el monitoreo, la limpieza y la selección de producto.

Botones propuestos para la pantalla de monitoreo en la distribución hacia las líneas.

- En esta pantalla a diferencia de otras, existirá un botón para cada tanque y al seleccionar uno de ellos, mostrará la configuración de cada tanque.
- El botón de paro se habilitara en todo momento y éste se usará cuando se acerque la producción de otro color.
- Los botones de nivel se configuran de forma que si se desea que el tanque mantenga su nivel en un porcentaje menor, se podrá configurar individualmente cada uno para cuando este cercano a algún cambio se podrá preparar menos para evitar desperdicios.

Un ejemplo que ayuda para su implementación es cuando el tanque teniendo un producto siempre mantendrá su nivel a menos que se ponga paro y en el caso necesario de saber que estoy por realizar algún cambio, se deberá programar un nivel menor y hacer el paro, para de esta forma consumir todo, posterior se podrá hacer el cambio (Se habilita solo con contraseña), lo cual implica una limpieza y posterior la selección del color, una vez seleccionado el color podrá hacer el arranque nuevamente.

Indicadores para la pantalla de distribución a las líneas de envasado.

- **Mensajes:** aquí se visualizar mensajes importantes y alertas.
- **Indicadores de nivel:** Visualizan en tiempo real el porcentaje o los litros de líquido en los cuales se encuentra el tanque.
- **Indicador de tanque:** una vez que se seleccione el tanque mostrará el número de tanque en el cual se encuentra.

- **Indicador de color:** aquí se visualiza el color que se esta trabajando en el tanque.
- **Selección de tanque:** Las representaciones gráficas de los tanques son propiamente botones pero serán indicadores del nivel y del color.

Finalmente se hace mención de todas las variables involucradas en el proceso que se describe en la tabla 3.3.7 y se refieren al proceso propuesto que estará descrito básicamente por la tabla 3.3.8 en donde se plantean las actividades.

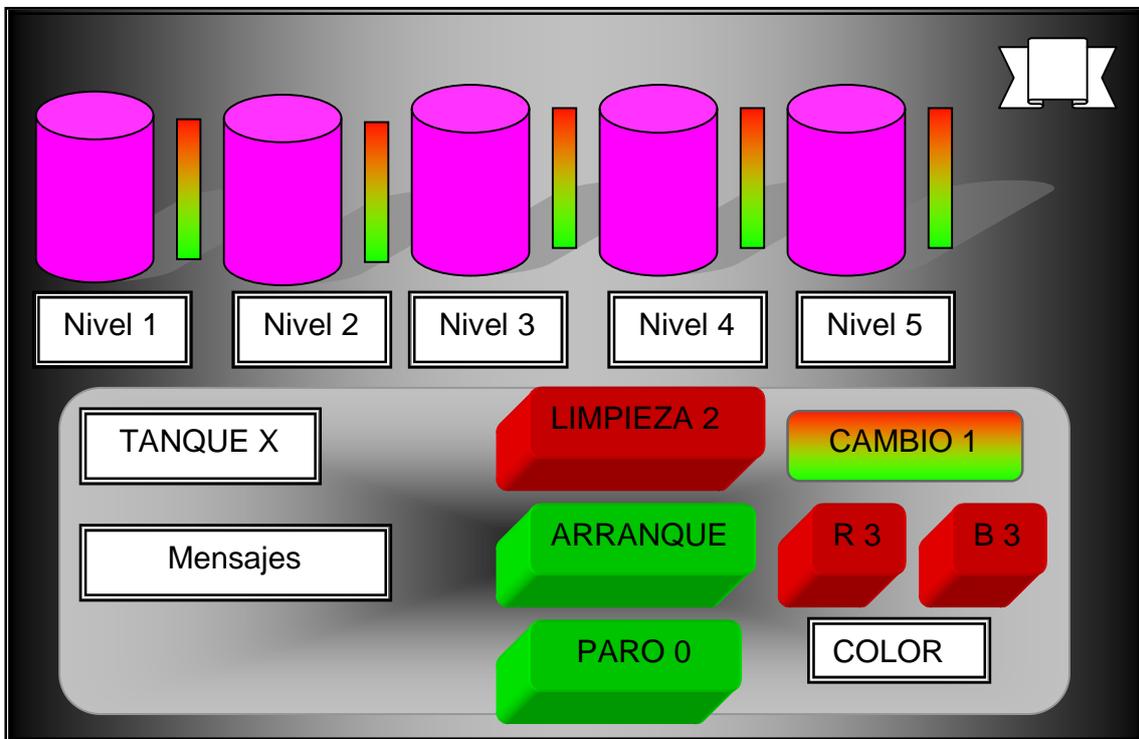


Figura 3.3.5 Propuesta de pantalla de nivel de llenado a líneas de envasado.



Figura 3.3.6 diagrama de dilución hacia las líneas y sus variables involucradas.

DESCRIPCION	MARCA	VARIABLE
Mezclador A	M1	S
Mezclador B	M2	S
Mezclador C	M3	S
Mezclador D	M4	S
Válvula de servicio 1	E4.1	S
Válvula de servicio2	E4.2	S
Motor fragancia blanca	M1.0	S
Motor color blanco	M1.1	S
Motor agua blanca	M1.2	S
Motor de concentrado blanco	M1.3	S
Motor fragancia rosa	M2.0	S
Motor color rosa	M2.1	S
Motor agua rosa	M2.2	S
Motor de concentrado rosa	M2.3	S
Nivel 1 concentrado	N1	E
Nivel2 concentrado	N2	E
Nivel 3 concentrado	N3	E
Nivel 4 concentrado	N4	E
Nivel 5 fragancia blanca	N5	E
Nivel 6 color blanco	N6	E
Nivel 7 agua blanca	N7	E
Nivel 8 fragancia rosa	N8	E
Nivel 9 color rosa	N9	E
Nivel 10 agua rosa	N10	E
Nivel línea 1	N11	E
Nivel línea 2	N12	E
Nivel línea 3	N13	E
Nivel línea 4	N14	E
Nivel línea 5	N15	E
Flujo fragancia blanca	F1	E
Flujo concentrado blanco	F2	E
Flujo de color blanco	F3	E
Flujo de agua blanca	F4	E
Flujo de concentrado rosa	F5	E
Flujo de fragancia rosa	F6	E
Flujo de color rosa	F7	E
Flujo de agua rosa	F8	E
Válvula Mat. 1 tanque 1	E1	S
Válvula Mat. 2 tanque 1	E2	S
Válvula Mat. 3 tanque 1	E3	S
Válvula Mat. 4 tanque 1	E4	S
Válvula Mat. 5 tanque 1	E5	S
Válvula Mat. 6 tanque 1	E6	S

DESCRIPCION	MARCA	VARIABLE
Válvula tanque 1 dosificadora	E7	S
Válvula tanque 1 limpieza.	E8	S
Válvula de fragancia blanca	E9	S
Válvula de color blanco	E10	S
Válvula de agua blanca	E11	S
Válvula Mat. 1 tanque 2	E1.1	S
Válvula Mat. 2 tanque 2	E1.2	S
Válvula Mat. 3 tanque 2	E1.3	S
Válvula Mat. 4 tanque 2	E1.4	S
Válvula Mat. 5 tanque 2	E1.5	S
Válvula Mat. 6 tanque 2	E1.6	S
Válvula tanque 2 dosificadora	E1.7	S
Válvula tanque 2 limpieza.	E1.8	S
Válvula Mat. 1 tanque 3	E2.1	S
Válvula Mat. 2 tanque 3	E2.2	S
Válvula Mat. 3 tanque 3	E2.3	S
Válvula Mat. 4 tanque 3	E2.4	S
Válvula Mat. 5 tanque 3	E2.5	S
Válvula Mat. 6 tanque 3	E2.6	S
Válvula tanque 3 dosificadora	E2.7	S
Válvula tanque 3 limpieza.	E2.8	S
Válvula Mat. 1 tanque 4	E3.1	S
Válvula Mat. 2 tanque 4	E3.2	S
Válvula Mat. 3 tanque 4	E3.3	S
Válvula Mat. 4 tanque 4	E3.4	S
Válvula Mat. 5 tanque 4	E3.5	S
Válvula Mat. 6 tanque 4	E3.6	S
Válvula tanque 4 dosificadora	E3.7	S
Válvula tanque 4 limpieza.	E3.8	S
Válvula de fragancia rosa	E3.9	S
Válvula de color rosa	E3.10	S
Válvula de agua rosa	E3.11	S
Selector de fragancia T A rosa	E5.1	S
Selector de fragancia TA blanco	E5.2	S
Salida de Tanque A	E5.3	S
Selector de fragancia TB rosa	E5.4	S
Selector de fragancia TB blanco	E5.5	S
Salida de TB	E5.6	S
Selector de fragancia TC rosa	E5.7	S
Selector de fragancia TC blanco	E5.8	S
Salida de tc	E5.9	S
Selector de fragancia TD rosa	E5.10	S
Selector de fragancia TD blanco	E5.11	S
Salida de TD	E5.12	S
Selector de fragancia TE rosa	E5.13	S
Selector de fragancia TE blanco	E5.14	S

DESCRIPCION	MARCA	VARIABLE
Salida de TE	E5.15	S
Bomba 1	B1	S
Bomba 2	B2	S
Bomba 3	B3	S
Bomba 4	B4	S
Bomba 5	B5	S
Medidor de ph1	ph1	E
Medidor de ph2	ph2	E
Medidor de ph3	ph3	E
Medidor de ph4	ph4	E
Medidor de ph5	ph5	E
Medidor de ph6	ph6	E
Medidor de ph7	ph7	E
Medidor de ph8	ph8	E
Válvula de limpieza 1	es1	S
válvula de limpieza 2	es2	S
válvula de limpieza 3	es3	S
válvula de limpieza 4	es4	S
válvula de limpieza 5	es5	S
válvula de alcohol TA	EL1	S
válvula de alcohol TB	EL2	S
válvula de alcohol TC	EL3	S
válvula de alcohol TD	EL4	S
Presión de línea 1	P1	E
Presión de línea 2	P2	E
Válvula de Agua limpieza T1	EA1	S
Válvula de Agua limpieza T2	EA2	S
Válvula de Agua limpieza T3	EA3	S
Válvula de Agua limpieza T4	EA4	S
Válvula de Agua limpieza T5	EA5	S
Válvula de alcohol T1	EAL1	S
Válvula de alcohol T2	EAL2	S
Válvula de alcohol T3	EAL3	S
Válvula de alcohol T4	EAL4	S
Válvula de alcohol T5	EAL5	S

Figura 3.3.7. Variables involucradas en el proceso.

Los pasos necesarios para realizar una preparación opima se describen en la serie de tablas 3.3.8 la cual brinda un amplio panorama de lo que deberá hacer el sistema, igualmente se anexa el diagrama el diagrama general que se tendrá que considerar y sus variable involucradas.

REALIZAR UNA PREPARACION DE CONCENTRADO DE 2500 KG			
1		Traer material surtir pedido.	30
2		Limpieza de tanque	15
3	600	Agregar agua 600 Kg., dosificado semiautomático con medición manual.	3
4		Encender el mezclador manualmente y mover frecuencia .	2
5	200	Agregar surfactante 200 Kg.	7
6		Mezcla por 5 minutos para estabilizar y diluir perfectamente.	5
7	200	Agregar acido de alta viscosidad 200 Kg. semiautomático y medición semiautomática.	3
8		Mezcla por 5 minutos para estabilizar y diluir perfectamente.	5
9		Medición inicial de ph. 1.0 (entre 2 y 3).	0.5
10		Mezclador a 45 rpm.	0.5
11	85	Agregar 85 Kg. de sosa cáustica para elevar ph. Entre 7 y 10.	8
12		Mezcla por 3 minutos.	3
13		Medición de ph. 1.1.	0.5
14	3	Agregar 3 Kg. de sosa cáustica.	1
15		Mezclar por 3 minutos.	3
16		Medición de ph. 1.2.	0.5
17	3	Agregar 3 Kg. de sosa cáustica.	1
18		Mezclar por 3 minutos.	3
19		Medición de ph. 1.3.	0.5
20	3	Agregar 3 Kg. de sosa cáustica.	1
21		Mezcla por 3 minutos.	3
22		Medición de ph. 1.4.	0.5
23	3	Agregar 3 Kg. de sosa cáustica.	1
24		Mezclar por 3 minutos.	3
25		Medición de ph. 1.5.	0.5
26	3	Agregar 3 Kg. de sosa cáustica.	1
27		Mezcla por 3 minutos.	3
28		Medición de ph. 1.6.	0.5
29	85	Se agrega hidróxido de amonio 85 Kg. para control de ph. Entre 3 y 4	8
30		Mezcla por 3 minutos	3
31		Medición de ph. 1.7	0.5
32	3	Agregar 3 Kg. de hidróxido de amonio.	1
33		Mezclar por 3 minutos.	3
34		Medición de ph. 1.8.	0.5
35	3	Agregar 3 Kg. de hidróxido de amonio	1
36		Mezclar por 3 minutos.	3
37		Medición de ph. 1.9.	0.5
38	3	Agregar 3 Kg. de hidróxido de amonio	1
39		Mezclar por 3 minutos.	3
40		Medición de ph. 1.10.	0.5
41	3	Agregar 3 Kg. de hidróxido de amonio	1
42		Mezclar por 3 minutos.	3
43		Medición de ph. 1.11.	0.5
44	3	Agregar 3 Kg. de hidróxido de amonio	1
45		Mezclar por 3 minutos.	3
46		Medición de ph. 1.12.	0.5
47	1300	Se agrega material 4, peróxido de hidrogeno 1200 Kg.	8
48		Mezclar por 3 minutos.	3

Figura 3.3.8 Propuesta para la preparación de granel.

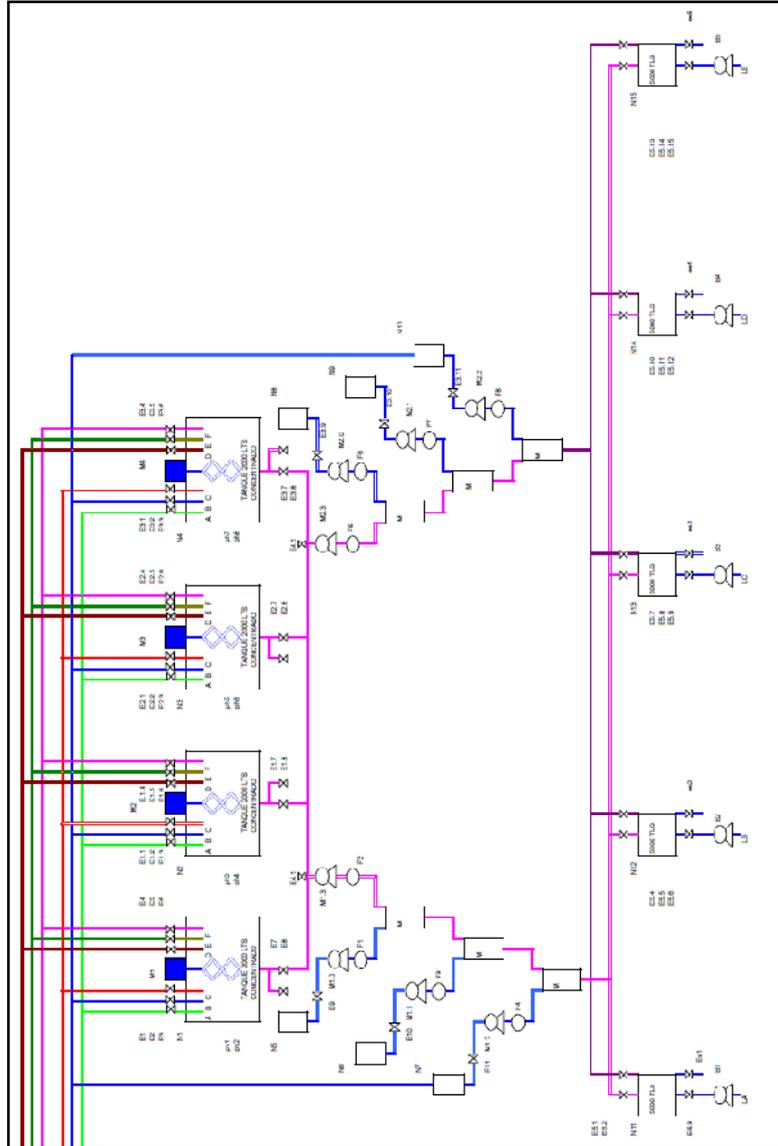


Figura 3.3.9 Esquema general de desarrollo para variables en proceso.

3.4 Elección de instrumentación y actuadores

En las siguientes líneas se describirán las opciones disponibles en el mercado para cada uno de los elementos clave que se utilizaran en la propuesta. El objetivo es verificar las ventajas y desventajas para generar la mejor elección, aunque también se debe tomar en cuenta que hay varios de estos elementos que ya están previamente contemplados por ahorro y por indicación de la misma empresa.

A continuación se muestran tres opciones de cada elemento con características similares y el análisis de la selección del que se ocuparán

MEDIDORES DE FLUJO

- 1) SITRANS F M MAG 5000 fabricado por Siemens, es un transmisor basado en microprocesador. Es muy potente y permite un fácil montaje, así como una puesta en marcha y mantenimiento sin problemas. Es un transmisor robusto, económico, apto para aplicación universal y con una precisión de medida (incluido sensor) de $\pm 0,4\%$ del caudal. Para obtener un instrumento completo, el transmisor SITRANS F M MAG 5000 debe combinarse con el SITRANS F M MAG 3100, que es un sensor de caudal electromagnético idóneo para casi todas las aplicaciones de caudal gracias a su amplia gama de revestimientos, materiales de electrodos y a sus electrodos con puesta a tierra de serie. También se ofrecen electrodos de medición capaces de soportar las condiciones de proceso más extremas, así como diversos revestimientos. La construcción completamente soldada es tan robusta que puede usarse en prácticamente cualquier aplicación de caudal.

- 2) Vortex 8800D, fabricado por Rosemount. El diseño completamente soldado y libre de obstrucciones brinda un rendimiento óptimo, fiabilidad y mayor seguridad, ya que es posible eliminar los puertos y las empaquetaduras. Sin uniones, solo acero, elimina las tuberías alternativas y optimiza la

seguridad durante la verificación del funcionamiento del sensor, está disponible únicamente con la salida opcional MultiVariable. La compensación de la temperatura interna proporciona una medición rentable de caudal másico, el procesamiento digital de señales adaptable (ADSP) proporciona inmunidad a la vibración y optimización del rango de caudal, aumenta el rango de caudal medible, reduce el costo de instalación y minimiza el riesgo del proyecto, genera un proceso simplificado de resolución de problemas por medio del diagnóstico del dispositivo y la comprobación del medidor.

- 3) Medidor de flujo de estado sólido 839E, fabricado por Allen Bradley, monitorea y muestra el régimen de flujo de medios líquidos de 0.1 a 9.84 pies/seg (0.03 a 3 m/seg). Este sensor mide el flujo y la temperatura y está disponible en dos longitudes de inserción de la sonda distintas. Envoltorio de acero inoxidable 316L duradero y resistente a la corrosión con calificación del envoltorio IP66, cuenta con pantalla digital de 14 segmentos y cuatro dígitos así como salidas PNP programables NA/NC dobles o salidas analógicas de 4 a 20 mA con una salida PNP. Cuenta con calificación del envoltorio IP67 para resistir condiciones industriales hostiles, sonda de acero inoxidable 316L.

En la siguiente tabla, tabla 3.4.1, se muestran las principales ventajas y desventajas de este medidor.

FABRICANTE	MODELO	VENTAJAS Y DESVENTAJAS
SIEMENS	SITRANS F M MAG 5000	<ul style="list-style-type: none"> - La empresa cuenta con este equipo. - Puede sustituirse sin pérdida de datos o precisión - Búsqueda de errores optimizada - Costo
ROSEMOUNT	Vortex 8800D	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño libre de obstrucciones - No presenta soldaduras ni uniones - Costo de instalación reducido - Disponibilidad

		- Compatibilidad con los demás elementos con que se cuentan para la implementación
ALLEN BRADLEY	Medidor de flujo de estado sólido 839E	- Precisión - Envolvente de acero inoxidable - Salidas programables - Costo - Disponibilidad - Compatibilidad con los demás elementos del sistema.

Tabla 3.4.1. Comparativa de medidores de flujo

Por lo anteriormente expuesto, el medidor de flujo elegido es el Siemens Mag 5000, debido entre otras cosas a que es el equipo con el que cuenta la empresa, además de contar con las siguientes ventajas:

- Transmisor económico de altas prestaciones
- La tecnología SENSORPROM permite sustituir el transmisor y reprogramar automáticamente el nuevo transmisor sin pérdida de datos ni de precisión
- Múltiples salidas de función para control de procesos
- Pantalla y teclado disponibles en varios idiomas
- Búsqueda de errores optimizada y comprobación del equipo mediante un amplio menú de diagnóstico y servicio.

MEDIDOR DE PRESIÓN

Se proponen para los usos del control las siguientes opciones de medidor de presión (o presostatos):

- 1) DANFOSS, Modelo KPI 135¹: La serie KP es apta para medios líquidos y gaseosos. Fabricado en acero inoxidable. Tiene amplio rango de regulación de 0,2 a 8 bares (0 – 116 psi) y una presión límite de 18 bares.

1

<http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/04/ICPDP10L322.pdf>

Dimensiones pequeñas con un peso de 0.8 kg. Compatible con medición eléctrica AC y DC. Costo aproximado de 110 dls

- 2) Schneider Electric SPP110²: Este dispositivo está diseñado para trabajar en medios líquidos, fabricado en acero inoxidable. Tiene un rango de presión entre 0 a 100 kPa (0 a 14.5 psi) y una presión límite de 200 kPa, dimensiones pequeñas con un peso de 0.13 kg. Compatible con medición eléctrica AC y DC. Precio aproximado de 446 dls.
- 3) Controles Maco PH 2004-3 D³: Diseño especial para controles hidráulicos. Tiene un rango de presión de 0 a 4 Kg/cm² (0 a 57 psi). Medición y control a través de AC. Precio aproximado de 75 dls. Por lo anterior y como puede observarse en la tabla siguiente (tabla), tanto por costo como por funcionalidad se eligió el primer dispositivo, DANFOSS, Modelo KPI 135, que cuenta con todas las características requeridas y a un precio costeable; además de contar con el renombre y confianza de ser una marca conocida.

En la siguiente tabla, tabla 3.4.2, se muestran las principales ventajas y desventajas del medidor de presión.

FABRICANTE	MODELO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
DANFOSS	KPI135	<ul style="list-style-type: none"> - Rango de presión adecuado. - Fabricado en acero inoxidable. - Compatibilidad de conexiones eléctricas del sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se tiene en planta
Schneider	SPP110	<ul style="list-style-type: none"> - Rango de presión 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto costo

² http://www.ops-ecat.schneider-electric.com/ecatalogue/browse.do?cat_id=BU_BAU_7753_L3_Z002&conf=seo&el_typ=product&nod_id=0000000014&prd_id=SPP110_100KPA&scp_id=Z002

³ http://www.controlesmaco.com.ar/Presostatos_para_hidraulica_PDF.pdf

Electric		adecuado. - Fabricado en acero inoxidable. - Compatibilidad de conexiones eléctricas.	- No se tiene en planta.
Controles Maco	PH 2004-3 D	- Rango de presión adecuado. - Costo - Sin información específicas de fabricación.	- Incompatibilidad de conexiones eléctricas. - No se tiene en planta.

Tabla 3.4.2. Comparativa de medidores de presión.

MEDIDOR DE PH

Se muestran las opciones afines del medidor de pH que deberá utilizara.

- 1) El EXAxt SC450G Funcionalidad de la pantalla de registro de eventos, interconexión para su uso en diversos procesos. Operación de pantalla táctil, Recinto IP66/NEMA4X 1/2DIN para montaje de campo y el montaje en panel. Los datos en pantalla de calibración, bitácora, cambios de configuración y eventos, Compensación de la temperatura de proceso avanzado.
- 2) El transmisor multiparámetro M800 proporciona control simultáneo de una, dos o cuatro sensores en línea para la medición de pH. Características en instalación del sensor rápido y la puesta en marcha, la información de mantenimiento predictivo, y el estado dinámico de vida útil del sensor. Gracias a la pantalla iMonitor, el estado de cada sensor se determina de un vistazo lo que permite acciones preventivas que deben tomarse antes de que se ven afectados los procesos.
- 3) Electrodo de pH Memosens de Endress+Hauser ya está en el mercado. Los sensores con la tecnología Memosens, son los primeros, que permiten memorizar datos importantes de proceso en el propio electrodo. Con

comunicación inductiva y bidireccional, se garantiza la transmisión de los datos segura y libre de interferencias entre sensor y transmisor.

A continuación se muestra un comparativo de estos medidores de pH. Véase tabla 3.4.3.

FABRICANTE	MODELO	VENTAJAS y DESVENTAJAS
Yocogama	EXAxt SC450G	<ul style="list-style-type: none"> - Cuatro contactos de relé con indicadores. - Compensación Proceso por el coeficiente de temperatura configurable. - Calibración de 1 o 2 puntos semiautomático - Principio de medición Método de electrodo de vidrio - pH: -2-16 pH - Temperatura: -30 a 140 ° C (Pt1000) - Dos salidas aisladas de 4 a 20 mA CC con negativo común. Carga máxima de 600 Ω. - Respuesta menor a 4 s.
Mettler Toledo	SERIE 1390	<ul style="list-style-type: none"> - Recinto IP 65 - 4 salidas de corriente 4 a 20 mA (2 para el modelo de un solo canal), con aislamiento galvánico. - Relays 6 (4 para el modelo de un solo canal) entradas digitales 2 (1 para el modelo de un solo canal) - Protección por contraseña de niveles múltiples - interfaz de usuario - interfaz de servicio - puerto USB
Endress +Houser Seleccionado.	CPS11D	<ul style="list-style-type: none"> - sin problemas de humedades y polvo. Sin conexión por contacto metálico. - Memorizar los datos de fabricación, los datos electrónicos y lo más importante todos los datos de las calibraciones. Electrodo robusto que requiere poco mantenimiento. - Biocompatibilidad certificada. - Aplicación a presiones de hasta 16 bar / 232 psi - Vidrio Proceso para aplicaciones

		altamente alcalinas disponibles
--	--	---------------------------------

Tabla 3.4.3. Comparativa de medidores de pH.

MEDIDORES DE NIVEL

Los medidores de líquidos trabajan midiendo directamente la altura del líquido sobre una línea de referencia, ó bien la presión hidrostática, o con el desplazamiento producido por un flotador por el propio líquido contenido en el tanque, y en otros casos aprovechando las características eléctricas del líquido. Se muestra a continuación las 3 propuestas que se analizaron.

- 1) LS-1750 Es un medidor de nivel de construcción robusta para medios agresivos y espacios reducidos, con un bajo costo adecuado para altas temperaturas y presiones.
- 2) El medidor de nivel o sensor es un transmisor compacto que cuentan con la durabilidad y resistencia de acero inoxidable o construido de latón. La serie XT t XM-800, con salida analógica, con manejo de corriente de 4-20mA, que es nuestra señal de operación del proceso.
- 3) WL400. Estos sensores de nivel usan el principio mecánico de transmisión de movimiento entrando en contacto directo con el líquido, además operan a presión atmosférica generalmente y se puede decir que son los más simples y menos costosos.

La siguiente comparativa, mostrada en la tabla 4.3.4, brinda información que nos sirvió para la selección del medidor de nivel.

FRABICANTE	MODELO	VENTAJAS Y DESVENTAJAS
GEMS GLOBAL WATER GEMS	LS-1750 WL400 XT800	<ul style="list-style-type: none">- Se adapta a los requerimientos del proceso en su totalidad- En conjunto se cubren las necesidades que se tienen- La adaptabilidad al equipo es la necesaria

ROSEMOUNT	RTG-3990	<ul style="list-style-type: none"> - Ideal para productos espesos - Se coloca en techos fijos y móviles - funciona por antena parabólica.
ALTEC	PFGLP PFGLPC	<ul style="list-style-type: none"> - Se moverá al nivel por flotación. - se mantendrá en flotación a 45° - Son de acero inoxidable <p>Mantenimiento constante y caro-</p>

Tabla 3.4.4. Comparativa de medidores de nivel.

Los dispositivos anteriores ya existen dentro de la planta por lo que se usaran en el proceso propuesto.

BOMBAS DE CAVIDAD PROGRESIVA

Son usadas en el bombeo de líquidos altamente viscosos, pastosos, neutrales o agresivos, incluso líquidos con componentes fibrosos y sólidos. Se muestran a continuación el listado de bombas que cumplen con las características requeridas.

- 1) KuduPump. En esta bomba los componentes principales son el rotor y el estator y son de hecho del material llamado elastómero de alta calidad lo que la hace más ligera pero sus mantenimientos son costosos.
- 2) Interplant. Este equipo aunque de “bajo costo”, sus dimensiones son excesivas y ello nos limita en los espacios de instalación. Su rotor es de una hélice externa simple con una sección de corte transversal redonda, maquinada con precisión en un acero de alta resistencia.
- 3) Nova Rotors. Para este equipo, el cual funciona girando el rotor dentro del estator, formando cavidades que avanzan desde el extremo de succión hasta el de descarga de la bomba, transportando el material bombeado. Con un sello continuo entre las hélices del rotor y estator hace que el fluido se desplace continuamente a una velocidad fija que es proporcional a la velocidad de rotación de la bomba.

En la siguiente tabla comparativa, 3.4.5, se encuentran las ventajas y desventajas que apoyaron a la selección.

FABRICANTE	MODELO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
NOVA ROTORS, s.r.l.	DAIMOND	<ul style="list-style-type: none"> - Control de operación y manejo del equipo - Cubre las necesidades del proceso 400M3/HR 	Alto Costo
INTERPLANT, S.A.	AEE.ID	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimientos de bajo costo - Cubre las necesidades del proceso 450M3/HR 	Manejo y dimensiones de diseño
KUDUPUMP, USA	80K450	<ul style="list-style-type: none"> - Los materiales de construcción son lo último en la creación de estos equipos - Se cubren las necesidades del proceso 450M3/HR 	Alto costo y mantenimientos

Tabla 3.4.2. Comparativa de bombas de cavidad progresica.

Por las características del equipo Nova Rotors, que son las que mejor han cubierto las necesidades del proceso, se ha decidido integrarla a la planta.

VARIADORES DE FRECUENCIA.

Dado que dentro del planteamiento en la optimización se incluye la realimentación en un sistema de lazo cerrado la señal que se modificará será la frecuencia, y por ende el flujo, en las bombas que se ocupan durante la dilución. Esto a su vez genera la necesidad de modificar dicho valor, por lo que se considera el uso de variadores o inversores de frecuencia. Se consideraron los siguientes modelos de variadores de frecuencia:

- 1) ABB ACS800 Convertidor ACS800. Cuenta con equipos para voltajes de alimentación desde 220[V] hasta 700[V] con una variación de +-10%

frecuencias desde 48 hasta 60[Hz] y en potencia de salida desde 1.1[kW]. Cuenta con función **Safe Torque Off** Seguridad de Torque Desactivado, 6 entradas y 3 salidas digitales además de 2 entradas y 2 salidas analógicas, todas ellas programables, además de la posibilidad de instalar módulos de comunicación y expansiones para adicionar señales. La información se puede visualizar en la pantalla de control así como modificar parámetros. Adicionalmente, las conexiones internas son por medio de cable de fibra óptica lo que proporciona no sólo velocidad en la comunicación sino confiabilidad

- 2) Siemens Micromaster 420. Siemens MM420. Está diseñad para trabajar en temperaturas ambiente de -10 hasta 50[°C]. Cuenta con entradas y salidas digitales, así como una entrada y salida analógica para voltaje o corriente. Cuenta con pantalla BOP para visualización y configuración rápida. Está disponible en voltajes desde 200 hasta 480[V] y potencia de salida desde 0.12 hasta 11[kW] con frecuencias de hasta 600[Hz]
- 3) Control TechniquesSkCommander. Cuenta con versiones desde 0.25 hasta 132[kW] en temperatura ambiente de -10 a 40[°C].Cuenta así mismo con entradas y salidas, tanto analógicas como digitales, y el panel de control está integrado en el equipo.

En la siguiente tabla, 3.4.6, se localiza la comparativa en ventajas y desventajas del variador de frecuencia.

FABRICANTE	MODELO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ABB	ACS800	<ul style="list-style-type: none"> - Gran cantidad de entradas y salidas - Uso de fibra óptica - Compacto - Cuenta con ventilador de enfriamiento de disipador - Amplio rango de temperatura de operación 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto Costo - Requiere software costoso - Difícil integración con sistemas de otro fabricante - IP20
Siemens	MM420	<ul style="list-style-type: none"> - Facilidad de operación 	<ul style="list-style-type: none"> - Pantalla de

		<ul style="list-style-type: none"> - Amplio rango de temperatura ambiente - Amplio rango de frecuencia de salida - Compacto y sencillo - Software gratuito - Fácil interconexión con otros dispositivos Siemens y de otro fabricante - Resolución de 0.01[Hz] 	<p>visualización muy básica</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rango de voltaje limitado - IP20
Control Techniques	SK	<ul style="list-style-type: none"> - Gran cantidad de modelos. - Cuenta con pantalla de visualización integrada - Posibilidad de hacer respaldo de programación en tipo USB - Software gratuito e interfaz económica 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo rango de temperatura de operación. - Alto costo - Difícil de obtener y reparar - Difícil programación usando pantalla - IP20

Tabla 3.4.6. Comparativa de variadores de frecuencia.

Dadas las características expuesta anteriormente, se opta por el modelo MM420 pues es robusto, fácil de obtener y cuenta con soporte a nivel mundial, tiene gran eficiencia (96 a 97%) y las diversas protecciones que implementa, como son sobrecorriente, fallo a tierra, corto circuito y rotor bloqueado, nos aseguran la integridad del variador, los motores y el sistema en general.

3.5 Carta de Gantt de mejora del proceso

A continuación, se presentan las dos cartas de Gantt, tanto del proceso actual, como del proceso propuesto con la automatización. Cabe aclarar que el cambio y la mejora son radicales.

Se analiza el resultado de tiempos del proceso actual, se requieren 305 minutos para completar el proceso, lo cual implica 5.08 horas, y 20 turnos al día, es decir, 4 personas por 5 líneas de producción, esto representa 440 turnos al mes y 3520

turnos al año, lo que representa en dinero, un gasto total para la empresa de \$2,016,000 anuales.

Cabe aclarar que dentro del proceso actual, se requiere de un flujo de 500 litros por minuto de agua para obtener la producción demandada en una sola presentación a granel.

Para el sistema propuesto, el resultado de tiempos del proceso, se requerirían solamente 156.5 minutos para completar el proceso, lo que implica 2.61 horas, y solamente 3 turnos al día, es decir, 3 personas en una sola línea de producción capaz de producir los diferentes productos que comercializa la empresa.

Esto representa en dinero un gasto total para la empresa de \$302,400 anuales

De igual manera, es importante hacer mención que con el sistema propuesto se requiere solamente de un flujo de 300 litros por minuto de agua para obtener la producción demandada, esto también representa un gran ahorro.

Con el sistema propuesto, se reducen tiempos de vaciado de material al momento de realizar la preparación, se eliminan otras tareas que se realizan de forma manual, y se puede tener un respaldo en la línea de producción para evitar paros por fallas, accidentes o mantenimiento.

Es importante recordar que esta empresa acaba de obtener la Certificación en sistemas de Gestión Integral, es decir, es de suma importancia cuidar y mejorar los impactos ambientales que la planta genera, así como los peligros y riesgos laborales a los que el personal que labora está expuesto.

Con la automatización propuesta se logran ambas cosas, y de forma adicional se garantiza una calidad uniforme en el producto obtenido al final de la línea de

producción ya que las proporciones de dilución y demás parámetros podrán ser controlados en un sistema de malla cerrada.

En lo general, se contemplan ahorros directos en mano de obra por \$1,713,600 anuales con el sistema propuesto, además de que se reducen los impactos ambientales al reducir la cantidad de agua demandada, y se disminuyen los riesgos laborales para el personal involucrado en los procesos.

Para referencia, vea cartas de Gantt 3.5.1 y 3.5.2, las cuáles se anexan.

PROCESO ACTUAL												
REALIZACION DE UNA PREPARACION DE CONCENTRADO DE 2500 Kg.												
TAREA #	CANTIDAD DE MAT. (Kg)	DESCRIPCION	TIEMPO (min)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
				60.0	15.0	6.0	15.0	5.0	7.0	5.0	3.0	5.0
1		Traer material, surtir pedido	60	60								
2		Limpieza de tanque	15		15							
3	600	Agregar agua 600 Kg, dosificado semiautomático con medición manual, cubicado con metro	6			6						
4		Encender mezclador manualmente, ajustar frecuencia a 30 rpm	5			5						
5	200	Agregar manualmente 200 Kg de surfactante, realizar medición manual	15				15					
6		Mezclar por 5 minutos hasta estabilizar y diluir mezcla perfectamente	5					5				
7	200	Agregar 200 Kg. De ácido de alta viscosidad, de forma semiautomática, realizar medición.	7						7			
8		Mezclar por 5 minutos hasta estabilizar y diluir mezcla perfectamente	5							5		
9		Apagar motor de mezclador manualmente y tomar muestra del producto en ambos extremos	3								3	
10		Medición manual inicial de PH 1.0 (entre 2 y 3)	3.5									3.5
11		Encender y ajustar de forma manual la mezcladora a una velocidad de 45 rpm	5									5
TAREA #	CANTIDAD DE MAT. (Kg)	DESCRIPCION	TIEMPO (min)	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
				20.0	3.0	3.0	3.5	1.0	3.0	3.0	3.5	1.0
12	85	Agregar manualmente 85 Kg de sosa cáustica para elvar el PH entre 7 y 10	20	20								
13		Mezclar por 3 minutos	3		3							
14		Apagar motor de mezclador manualmente y tomar muestra del producto en ambos extremos	3			3						
15		Medición de PH 1.1	3.5				3.5					
16		Encender mezclador manualmente	0.5				0.5					
17	3	Agregar 3 Kg de sosa cáustica	1					1				
18		Mezclar por 3 minutos	3						3			
19		Apagar motor de mezclador manualmente y tomar muestra del producto en ambos extremos	3							3		
20		Medición de PH 1.2	3.5								3.5	
21		Encender mezclador manualmente	0.5								0.5	
22	3	Agregar 3 Kg. De sosa cáustica	1									1

TAREA #	CANTIDAD DE MAT. (Kg)	DESCRIPCION	TIEMPO (min)	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27
23		Mezclar por 3 minutos	24.0	3.0	3.0	3.5	1.0	3.0	3.0	3.5	1.0	3.0
24		Apagar motor de mezclador manualmente y tomar muestra del producto en ambos extremos	3		3							
25		Medición de PH 1.3	3.5			3.5						
26		Encender mezclador manualmente	0.5			0.5						
27	3	Agregar 3 Kg de sosa cáustica	1				1					
28		Mezclar por 3 minutos	3					3				
29		Apagar motor de mezclador manualmente y tomar muestra del producto en ambos extremos	3						3			
30		Medición de PH 1.4	3.5							3.5		
31		Encender mezclador manualmente	0.5							0.5		
32	3	Agregar 3 Kg de sosa cáustica	1								1	
33		Mezclar por 3 minutos	3									3
TAREA #	CANTIDAD DE MAT. (Kg)	DESCRIPCION	TIEMPO (min)	T28	T29	T30	T31	T32	T33	T34	T35	T36
34		Apagar motor de mezclador manualmente y tomar muestra del producto en ambos extremos	38.0	3.0	3.5	1.0	3.0	3.0	3.5	15.0	3.0	3.0
35		Medición de PH 1.5	3	3								
36		Encender mezclador manualmente	3.5		3.5							
37	3	Agregar 3 Kg de sosa cáustica	0.5		0.5		1					
38		Mezclar por 3 minutos	1				3					
39		Apagar motor de mezclador manualmente y tomar muestra del producto en ambos extremos	3					3				
40		Medición de PH 1.6	3						3.5			
41		Encender mezclador manualmente	0.5						0.5			
42	85	Agregar manualmente 85 Kg de Hidróxido de amonio para control de PH. Entre 4 y 5	15							15		
43		Mezclar por 3 minutos	3								3	
44		Apagar motor de mezclador manualmente y tomar muestra del producto en ambos extremos	3									3
TAREA #	CANTIDAD DE MAT. (Kg)	DESCRIPCION	TIEMPO (min)	T37	T38	T39	T40	T41	T42	T43	T44	T45
45		Medición de PH 1.7	25.5	3.5	1.5	3.0	3.0	3.5	1.5	3.0	3.0	3.5
46		Encender mezclador manualmente	3.5	3.5								
47	3	Agregar 3 Kg de sosa cáustica	0.5	0.5								
48		Mezclar por 3 minutos	1.5		1.5							
49		Apagar motor de mezclador manualmente y tomar muestra del producto en ambos extremos	3			3						
50		Medición de PH 1.8	3					3.5				
51		Encender mezclador manualmente	0.5					0.5				
52	3	Agregar 3 Kg de sosa cáustica	1.5						1.5			
53		Mezclar por 3 minutos	3							3		
54		Apagar motor de mezclador manualmente y tomar muestra del producto en ambos extremos	3								3	
55		Medición de PH 1.9	3.5									3.5
56		Encender mezclador manualmente	0.5									0.5

TAREA #	CANTIDAD DE MAT. (Kg)	DESCRIPCION	TIEMPO (min)	T46	T47	T48	T49	T50	T51	T52	T53	T54
			21.0	1.5	3.0	3.5	0.5	1.5	3.0	3.0	3.5	1.5
57	3	Agregar 3 Kg de sosa cáustica	1.5	1.5								
58		Mezclar por 3 minutos	3	3								
59		Apagar motor de mezclador manualmente y tomar muestra del producto en ambos extremos	3		3							
60		Medición de PH 1.10	3.5			3.5						
61		Encender mezclador manualmente	0.5				0.5					
62	3	Agregar 3 Kg de sosa cáustica	1.5					1.5				
63		Mezclar por 3 minutos	3						3			
64		Apagar motor de mezclador manualmente y tomar muestra del producto en ambos extremos	3							3		
65		Medición de PH 1.11	3.5								3.5	
66		Encender mezclador manualmente	0.5								0.5	
67	3	Agregar 3 Kg de sosa cáustica	1.5									1.5
TAREA #	CANTIDAD DE MAT. (Kg)	DESCRIPCION	TIEMPO (min)	T55	T56	T57	T58	T59	T60			
			34.5	3.0	3.0	3.5	12.0	3.0	10.0			
68		Mezclar por 3 minutos	3	3								
69		Apagar motor de mezclador manualmente y tomar muestra del producto en ambos extremos	3		3							
70		Medición de PH 1.12	3.5			3.5						
71		Encender mezclador manualmente	0.5			0.5						
72	1300	Agregar manualmente material 4, 1200 Kg. De peróxido de hidrógeno, y 100 Kg de Fragancia y colorante	12				12					
73		Mezclar por 3 minutos	3					3				
74		Limpieza y despeje	10						10			

CARTA 3.5.1. DIAGRAMA DE GANTT DEL PROCESO ACTUAL

Como se ha podido observar, en la carta 3.5.1, el proceso actual genera 74 pasos, mismos que son repetitivos y controlados por operarios, en especial la parte donde se adiciona la sosa cáustica, debido a las mediciones reiterativas de PH, y aunado a esto, para realizar esta medición por parte de los operarios, es necesario apagar y encender la mezcladora, con lo cual se pierde bastante tiempo en esta parte del proceso.

También, el tener que realizar las mediciones de nivel de forma manual, las adiciones de producto de forma manual, así como el control de velocidad de la misma forma, repercute en la contratación de operarios para esa línea de producción, concretamente 4 operarios por cada línea de producción, si se consideran 5 líneas funcionando en paralelo, son 20 operarios los que laboran en el proceso actual.

PROCESO PROPUESTO												
REALIZACION DE UNA PREPARACION DE CONCENTRADO DE 2500 Kg.												
TAREA #	CANTIDAD DE MAT. (Kg)	DESCRIPCION	TIEMPO (min)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1		Traer material, surtir pedido	30	30								
2		Limpieza de tanque	15		15							
3	600	Agregar agua 600 Kg, dosificado semiautomático con medición manual, cubicado con metro	3			3						
4		Encender mezclador manualmente y variar frecuencia para establecerla a 30 rpm	2			2						
5	200	Agregar 200 Kg de surfactante	7				7					
6		Mezclar por 5 minutos para estabilizar los componentes y diluir la solución perfectamente	5					5				
7	200	Agregar de forma semiautomática 200 Kg de ácido de alta viscosidad, y realizar medición de forma semiautomática	3						3			
8		Mezclar por 5 minutos para estabilizar los componentes y diluir la solución perfectamente	5							5		
9		Medición inicial de PH 1.0, el valor debe estar entre 2 y 3	0.5								0.5	
10		Ajustar mezclador a 45 rpm	0.5								0.5	
11	85	Agregar 85 Kg de sosa cáustica para elevar el PH a un valor entre 7 y 10	8									8
TAREA #	CANTIDAD DE MAT. (Kg)	DESCRIPCION	TIEMPO (min)	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
12		Mezclar por 3 minutos	3	3								
13		Medición de PH 1.1	0.5		0.5							
14	3	Agregar 3 Kg. De sosa cáustica	1			1						
15		Mezclar por 3 minutos	3				3					
16		Medición de PH 1.2	0.5					0.5				
17	3	Agregar 3 Kg. De sosa cáustica	1						1			
18		Mezclar por 3 minutos	3							3		
19		Medición de PH 1.3	0.5								0.5	
20	3	Agregar 3 Kg. De sosa cáustica	1									1
TAREA #	CANTIDAD DE MAT. (Kg)	DESCRIPCION	TIEMPO (min)	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27
21		Mezclar por 3 minutos	3	3	0.5	1.0	3.0	0.5	1.0	3.0	8.0	3.0
22		Medición de PH 1.4	0.5		0.5							
23	3	Agregar 3 Kg. De sosa cáustica	1			1						
24		Mezclar por 3 minutos	3				3					
25		Medición de PH 1.5	0.5					0.5				
26	3	Agregar 3 Kg. De sosa cáustica	1						1			
27		Mezclar por 3 minutos	3							3		
28		Medición de PH 1.6	0.5								0.5	
29	85	Agregar 85 Kg de hidróxido de amonio para controlar el PH, para obtener un valor entre 3 y 4	8								8	
30		Mezclar por 3 minutos	3									3

TAREA #	CANTIDAD DE MAT. (Kg)	DESCRIPCION	TIEMPO (min)	T28	T29	T30	T31	T32	T33	T34	T35	T36
			13.5	0.5	1.0	3.0	0.5	1.0	3.0	0.5	1.0	3.0
31		Medición de PH 1.7	0.5	0.5								
32	3	Agregar 3 Kg. De sosa cáustica	1		1							
33		Mezclar por 3 minutos	3			3						
34		Medición de PH 1.8	0.5				0.5					
35	3	Agregar 3 Kg. De sosa cáustica	1					1				
36		Mezclar por 3 minutos	3						3			
37		Medición de PH 1.9	0.5							0.5		
38	3	Agregar 3 Kg. De sosa cáustica	1								1	
39		Mezclar por 3 minutos	3									3
TAREA #	CANTIDAD DE MAT. (Kg)	DESCRIPCION	TIEMPO (min)	T37	T38	T39	T40	T41	T42	T43	T44	T45
			30.0	0.5	1.0	3.0	0.5	1.0	3.0	8.0	3.0	10.0
40		Medición de PH 1.10	0.5	0.5								
41	3	Agregar 3 Kg. De sosa cáustica	1		1							
42		Mezclar por 3 minutos	3			3						
43		Medición de PH 1.11	0.5				0.5					
44	3	Agregar 3 Kg. De sosa cáustica	1					1				
45		Mezclar por 3 minutos	3						3			
46		Medición de PH 1.12	0.5							0.5		
47	1300	Se agrega el material 4, peróxido de hidrógeno	8								8	
48		Mezclar por 3 minutos	3								3	
49		Limpieza y despeje	10									10

CARTA 3.5.2. DIAGRAMA DE GANTT DEL PROCESO PROPUESTO

En la tabla 3.5.2, se observar el proceso propuesto, como se comentó anteriormente, se observa claramente la reducción de pasos, así como el aprovechamiento total de la mano de obra, al no requerir mas que 3 operarios para toda la producción, es decir, se pasa de tener 20 operarios a solamente tener 3 personas controlando y monitoreando esta línea de producción.

En total, y de acuerdo al análisis realizado en páginas anteriores, el ahorro directo en mano de obra que muestra esta carta de Gantt, es de \$1,713,600.00 anuales, además de la reducción sustancial de pasos en el proceso (de 74 a 49 pasos).

4.1 Control secuencial de válvulas, bombas, medidores de pH y nivel en el proceso de preparación.

En este capítulo se indica cómo se ejecuta a nivel esquemático y descriptivo la interacción que realizan los distintos dispositivos utilizados para esta aplicación y de esta forma crear con ello las interconexiones necesarias que se deberán establecer para cubrir las necesidades en la planta de preparación y líneas de embasado, ya en capítulos previos se ha descrito el criterio que cumplen los diferentes actuadores y sensores usados; esta parte esta referenciada a hacer una introducción de la lógica de funcionamiento sin involucrar directamente la parte de programación.

Se parte del esquema básico de cualquier control en el cual se cuenta con diferentes entradas y son dirigidas a una lógica para de esta forma dar un resultado deseado.

Para poder hacer una adecuada lógica, es necesario definir cuáles serán las entradas y cuáles serán las salidas, así como la lógica que se usara; en este caso efectuada por el PLC.

El control se realizara través de un PLC en su totalidad y se hará la lógica de control en lenguaje escalera.

Las entradas que se contemplaron para este proceso son adquiridas por los siguientes dispositivos.

- Medidor de Flujo. (Lectura analógica)
- Medidor de presión. (Lectura Digital)
- Medidor de pH.(Lectura Analógica)
- Medidor de Nivel. (Lectura analógica)
- Pantalla HMI (Lecturas digitales y lecturas Analógicas)

Las salidas identificadas en el proceso que serán limitadas por las entradas y la lógica son las siguientes:

- Bombas cavidad progresiva.
- Variadores de Frecuencia. (Salida digital por comunicación entre variador de frecuencia y PLC)
- Mezcladores.
- Pantalla. (Salidas Analógicas y Digitales)
- Válvulas. (Respuesta Digital.)

El proceso se centra en la interacción que deberá existir entre estos 10 dispositivos para poder obtener un resultado satisfactorio; se muestra un diagrama de las entras y salidas del proceso generalizado en la figura 4.1.1.

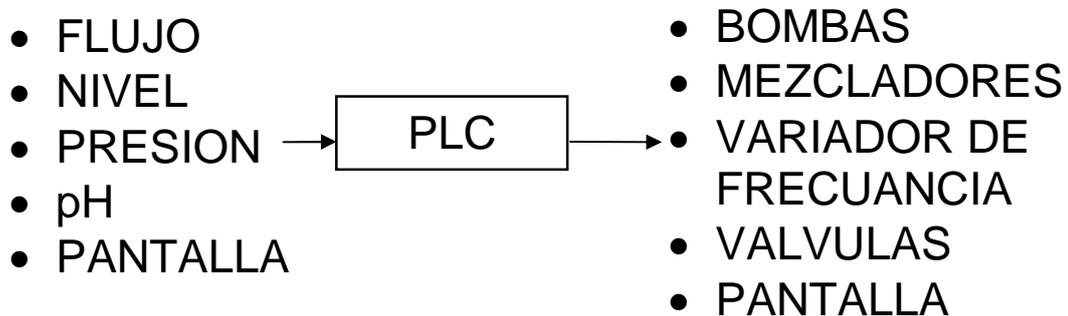


Figura 4.1.1 Diagrama de entradas y salidas.

Tomando como base la división que se realizó para poder analizar y dar solución al proceso, se toman estas 3 divisiones para hacer la caracterización y descripción de su control.

- Proceso de preparación.
- Proceso de Dilución.
- Proceso de distribución.

Descripción del control en el proceso de preparación.

Este bloque estará cumpliendo con su ciclo de funcionamiento solo dependiente de botones de arranque virtual (desde la pantalla HMI) o físico (Ejemplo botón de paro de emergencia), medidores de nivel, accionamiento de mezcladores y electroválvulas; la definición de control se hace presente solo en la secuencia que se deberá de seguir según el capítulo 2 y 3.

Correspondiente con los dispositivos involucrados; inicialmente los medidores de nivel deberán cuantificar en todo momento para hacer la transformación de nivel a kg y así marcar la pauta necesaria que arrojará la secuencia siguiente, en la descripción de este proceso se puede observar que hay una dependencia de eventos y que actuarán directamente con las electroválvulas de cada material en esta fase a diferencia de otras que tienen un inicio y un final; y que no hay un control cíclico más que en la lectura de nivel para lograr dar confirmación a los siguientes procesos. Para hacer énfasis en el proceso general se describe uno de los tanques el cual deberá de contar con el agregado del material según se estipula en el capítulo 1.2 y tener una interacción y confirmación con la pantalla para el inicio se describe en la figura 4.1.2. Es importante recalcar que la primera variable de interés como ya se dijo es el nivel que será una lectura de tipo analógico que estará a lo largo de todo este proceso y que confirmará a cada electroválvula su apertura y su cierre esto indicará que el funcionamiento de las electroválvulas será solo de apertura y cierre total, una segunda variable que marcará los inicios de secuencias será el pH que igualmente será una lectura analógica y que dará garantía de que se está construyendo una mezcla homogénea; en esta parte vale la pena detenerse a analizar cómo se deberán realizar estas mediciones ya que se deberán instalar 2 medidores de pH y tomar la lectura simultáneamente, determinar si será o no una lectura válida ya que al no haber una similitud entre lecturas esta deberá de ser tomada nuevamente o en su defecto el contenido del tanque deberá ser mezclado nuevamente; este proceso se deberá repetir en la adición de sosa y en la adición de hidróxido.

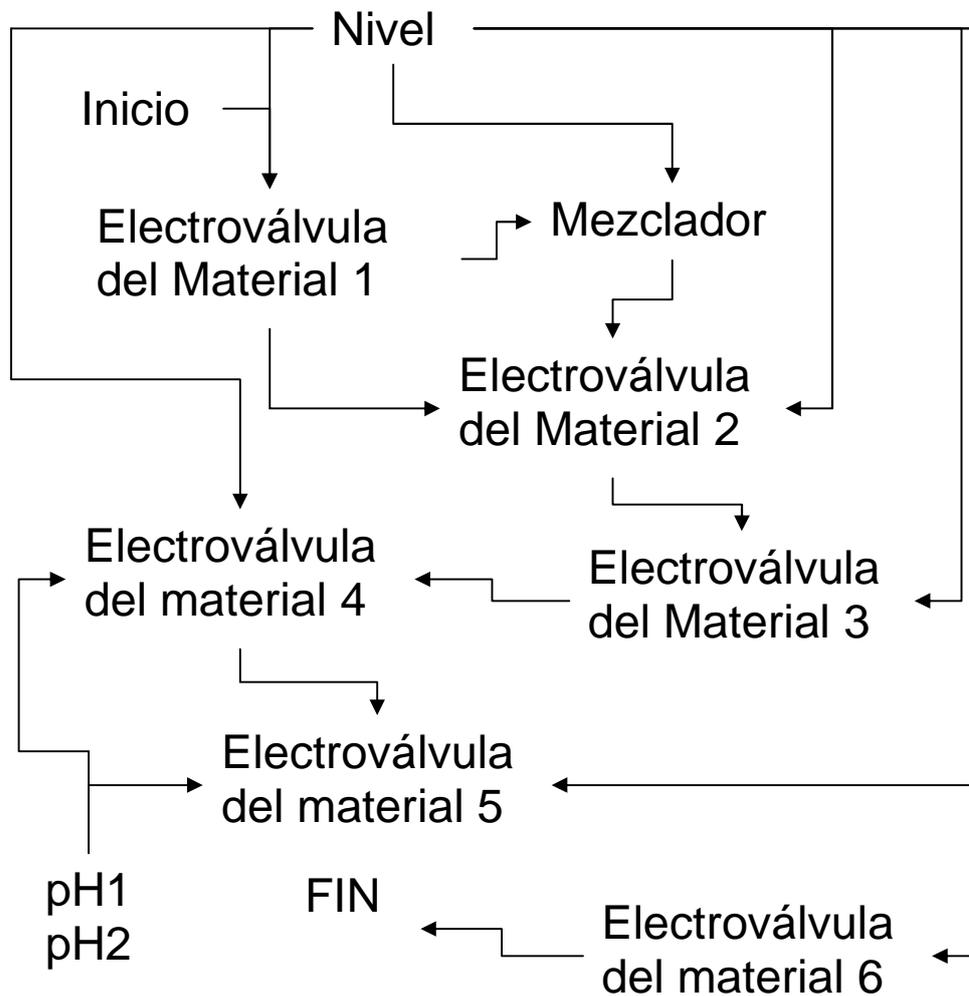


Figura 4.1.2 esquema de dependencia de entradas y salidas.

Para ejemplificar la secuencia que se deberá de seguir a la hora de hacer directamente la programación se enuncian las variables involucradas en este proceso en cada uno de sus tanques.

Las variables involucradas en el tanque 1 de preparación de concentrado se describen en la tabla 4.1.4 y así mismo se describen sus nomenclaturas.

Tanque 1 de preparación		
TAG.	TIPO	DESCRIPCION
EI1	Salida Digital.	Válvula de alcohol
E1	Salida Digital.	Válvula de material 1
E2	Salida Digital.	Válvula de material 2
E3	Salida Digital.	Válvula de material 3
E4	Salida Digital.	Válvula de material 4
E5	Salida Digital.	Válvula de material 5
E6	Salida Digital.	Válvula de material 6
N1	Entrada Analógica.	Sensor de nivel
M1	Salida analógica a red	Variador de Mezclador
PH1	Entrada Analógica.	Sensor de pH1
PH2	Entrada Analógica.	Sensor de pH2
E7	Salida Digital.	Válvula de Salida a dilución
E8	Salida Digital.	Válvula para drenar tanque

Tabla 4.1.4 nomenclaturas y variables de un tanque.

La interacción entre variables referenciadas a un tanque en este caso al tanque uno, se manejan con su secuencia básicamente por el nivel marcado como N1 y la sucesión al momento de actuar las válvulas (E1, E2, E3, E6) y la dependencia de las válvulas (E4 y E5) está marcada nuevamente por N1, PH1 y PH2. La figura 4.1.5 muestra el esquema de las nomenclaturas para los tanques del proceso de preparación. La figura 4.1.6 indica la dependencia de estas variables indicada por sus nomenclaturas. La analogía hacia los demás tanque puede hacerse simplemente tomando en cuenta la dependencia y la seriación de las variables.

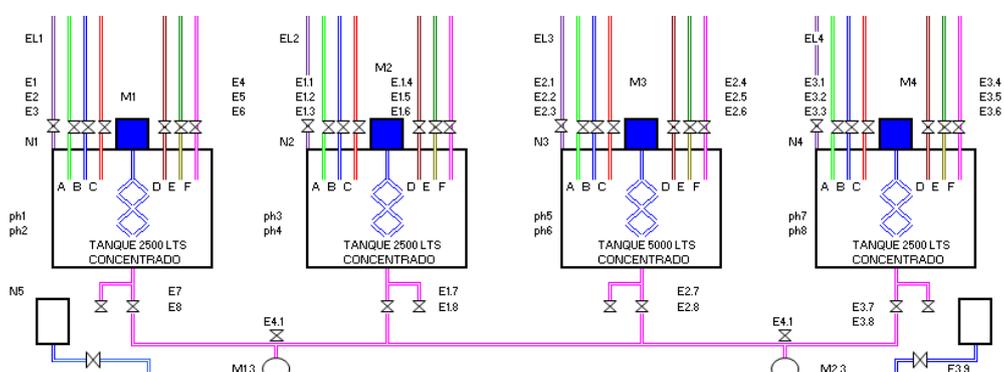


Figura 4.1.5 Nomenclatura de los tanques de preparación.

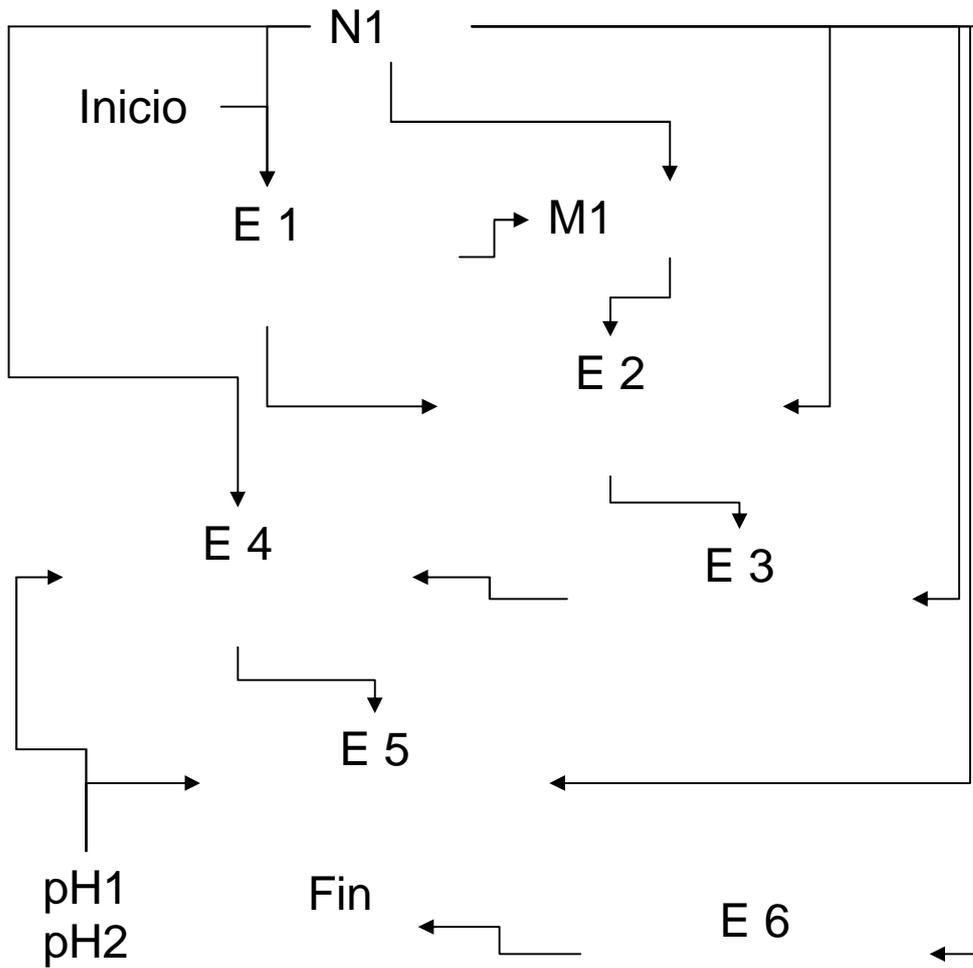


Figura 4.1.6 Dependencia de las variables representada por su nomenclatura.

4.2 Control automático de nivel en dilución y distribución de líneas de envasado

Es importante mantener en todo momento el nivel necesario, para ambas líneas de producto en óptimas condiciones para prevenir que los tanques con nomenclatura N11-N15 se vacíen y no sea posible surtir producto a las llenadoras.

El sistema base es el mismo para las dos líneas, adecuando las variables de control correspondientes con etiquetas que permitan diferenciarlos uno del otro, y se inicia partiendo del principio que el tanque concentrado se encuentra listo para ser usado, con los valores necesarios de nivel y calidad.

Para esto se recibe una señal de confirmación, a través de un arranque manual desde el panel HMI.

Adicionalmente es requisito que la línea se encuentra lista para producción y no está presurizada, por lo que se requiere una segunda confirmación de P2OK. No debe comenzar a producir sin saber primero que los componentes necesarios a adicionarse están disponibles, por lo que indicadores de nivel en los tanques N5, N6 y N7 actuarán como “bandera” habilitadora.

Validada esta información, del tanque de concentrado se debe abrir la válvula E4.1 permitiendo el paso de concentrado al mezclador M5. Se debe abrir a la par la válvula E9 del tanque N5, que contiene fragancia blanca, y arrancar motores M1.0 y M1.3 regulando las frecuencias por medio de los medidores de flujo F1 y F2. En caso de ser distinto el flujo del necesario se debe incrementar o reducir la frecuencia del motor M1.0 ya que M1.3 siempre tendrá revoluciones y frecuencia fija. El producto ingresa al mezclador M5.

Se activa la válvula E10 para permitir paso de color blanco, encendiendo al igual al motor M1.1 y se verifican las frecuencias de los motores por medio del medidor de

flujo $F3/F1+F2$. Si el resultado es mayor del esperado, se debe reducir la frecuencia de M1.1

En caso contrario, se aumenta la frecuencia hasta que el flujo se encuentre dentro de rango.

Los componentes de mezclan nuevamente en el mezclador estático M6. Se abre la válvula E11 para permitir paso del producto agua blanca desde el tanque N7, arrancando el motor M1.2 y verificando que se cumpla que la frecuencia $F4/(F1+F2+F3)$ esté en rango necesario, asegurando con ello el mezclado acorde a los niveles de calidad necesarios en la fabricación de líquido limpiador blanco. En caso de ser mayor o menor, se modificarán la frecuencia del motor M1.2.

En todo momento se debe verificar que la presión de las líneas nunca excedan de 5 psi.

El diagrama de flujo del programa principal quedaría de la siguiente manera, Figura 4.2.1

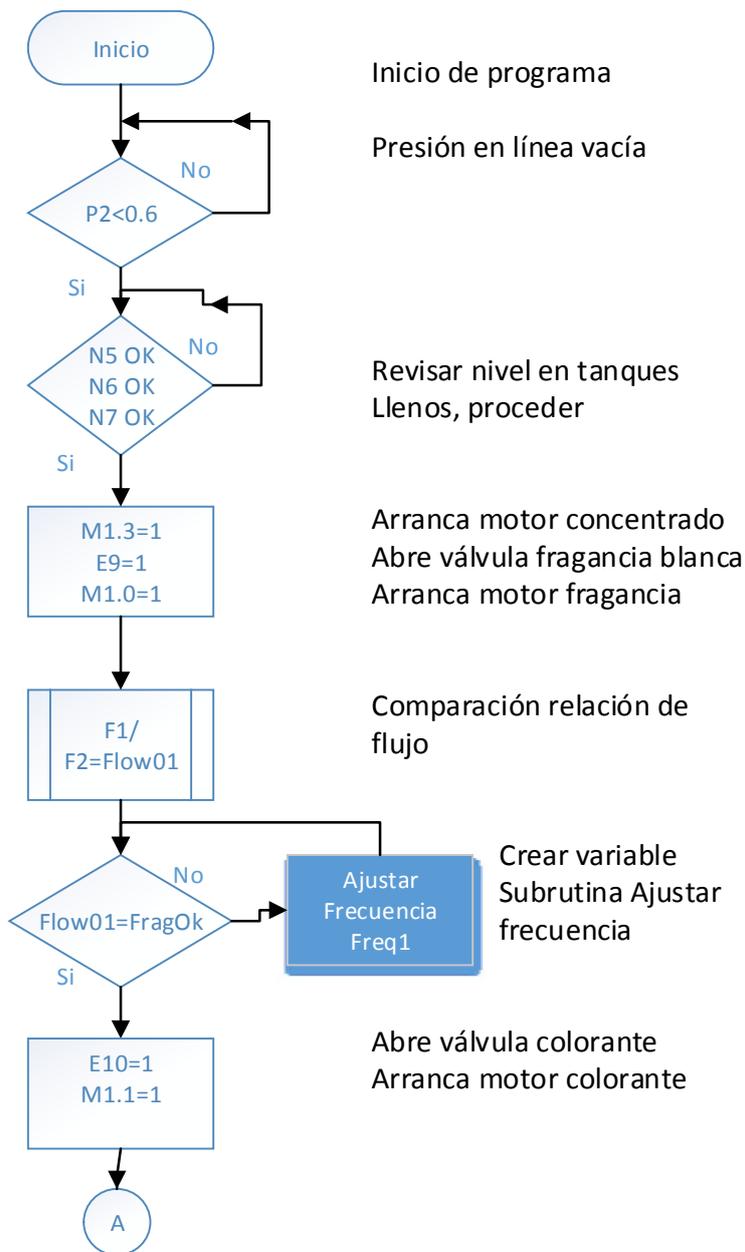


Figura 4.2.1 Control Principal

Dadas las condiciones iniciales que se deben cumplir y como parte de las condiciones de seguridad, se incluye adicionalmente el botón de paro de emergencia que interrumpa la ejecución de la programación así como los parámetros iniciales con los que contarán las rutinas para la dilución; la detección del paro de emergencia puede verse en la figura 4.2.2 Es importante notar que en

todas las rutinas se establece el dicho paro; de otra manera puede correrse el riesgo de que la interrupción no ocurra al entrar el programa en una subrutina

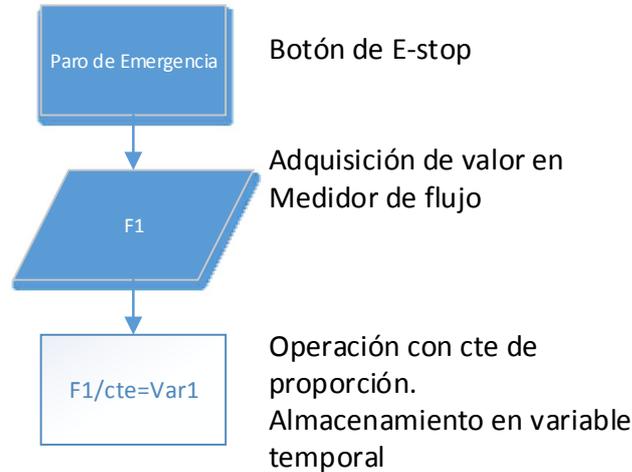


Figura 4.2.2 Paro de Emergencia en rutinas

Aunque en el diagrama de flujo se indica como parte inicial del proceso, en lenguaje de escalera en realidad es una entrada digital la cual guarda la información del punto del proceso en que se encuentra el programa. Al integrarla de esta manera el programa se detendrá al no poder proseguir con los ciclos, en cuestión de milisegundos dada la velocidad de procesamiento del PLC.

Dentro de los parámetros que se cargan inicialmente se incluye la constante a la cual se fijará la frecuencia F1, como se ha mencionado en capítulos anteriores, y en base a la cual se establecerán los demás valores.

De igual manera se determina la dirección para la señal analógica proveniente de los medidores de flujo, y se inician las subrutinas encargadas del procesamiento y ajuste de las frecuencias, como se muestra en la imagen siguiente, 4.2.3

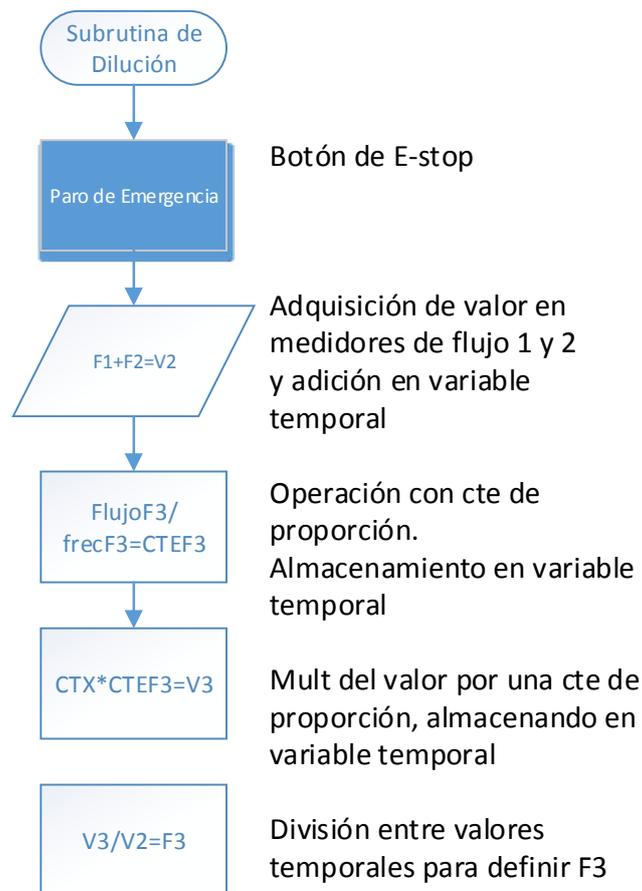


Figura 4.2.3 Subrutina de dilución

Durante las múltiples subrutinas se determinan variables de apoyo, a través de las cuales se realizarán las diversas operaciones aritméticas.

A lo largo del proceso se captura el valor del sensor de flujo y se adicional al valor del sensor de flujo 2 el cuál se almacena temporalmente en una de las variables de apoyo. Se realiza el cálculo de la relación flujo/frecuencia para almacenarse también en una variable de apoyo y multiplicarla por la constante de proporción de la frecuencia 2, establecidas anteriormente.

Finalmente, el cálculo para determinar la flujo de alguno de los elementos (fragancia o colorante) depende sobre todo al porcentaje colorante o fragancia en

relación con la cantidad de material utilizado por el granel de concentrado. Esto nos arrojará una constante que creará una relación entre los flujos.

De acuerdo a lo anterior, se establecerá, de acuerdo a la composición de la mezcla antes mencionada, qué porcentaje de material de estos elementos es utilizado con respecto al total de la mezcla, siendo cada uno de ellos aproximado al 2 % del total de la mezcla. De acuerdo a esto definiremos la relación de flujos.

El cálculo para la dilución es similar y está basado a la dilución del 10% del concentrado, que también nos arrojará una proporción de flujos.

Más adelante en la programación se definirán más a detalle las constantes que servirán como relación de flujos.

Adicionalmente, es necesario mantener todo el tiempo el nivel necesario en los tanques para la distribución a las llenadoras de producto. Por ello se tiene definido de manera automática que en caso que el nivel descienda debajo del valor permisible por el usuario el equipo deberá operar de manera automática, disminuyendo así la intervención humana necesaria, como se ve en la figura 4.2.4

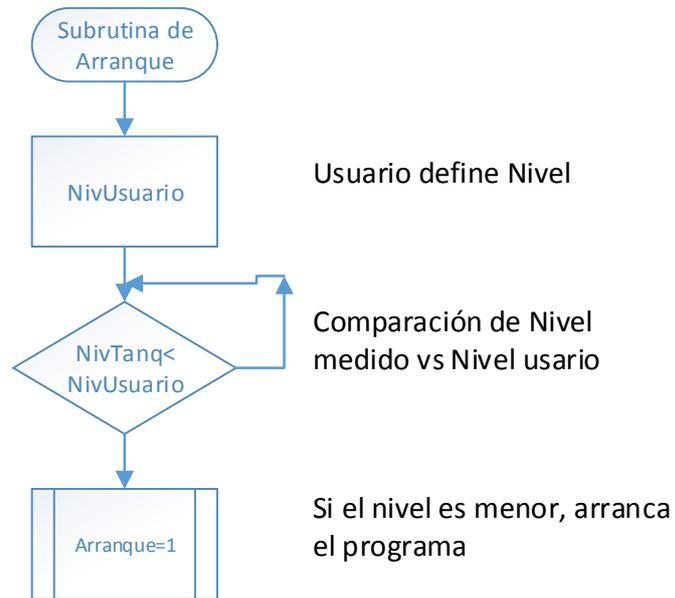


Figura 4.2.4 Arranque automático

De esta manera se garantiza en todo momento tanto la dilución como la distribución a las líneas de envasado, dentro de los parámetros requeridos por el operador y que el nivel permanezca para cualquiera de las llenadoras disponibles, en cualquiera de las presentaciones.

4.3. Elección y programación del PLC

Se utilizará un PLC de la serie S7-200, perteneciente a una gama de micro PLC de la marca Siemens, que sirven para automatizaciones relativamente sencillas gracias a su diseño compacto, bajo costo y amplio juego de operaciones.

Éste es fácilmente administrable a través de sistema operativo Windows gracias al software de programación (STEP 7) que ofrece gran flexibilidad para solucionar las tareas de automatización

Para la elección del PLC también es importante tomar en cuenta el número de entradas y salidas, así como la memoria disponible para configuración y procesamiento. Las entradas y salidas estarán dadas de acuerdo a la instrumentación y los actuadores propuestos. En la siguiente tabla (4.3.1) se presentan modelos disponibles de la serie.

Función	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 224XP, CPU 224XPsi	CPU 226
Dimensiones físicas (mm)	90 x 80 x 62	90 x 80 x 62	120,5 x 80 x 62	140 x 80 x 62	190 x 80 x 62
Memoria del programa: con edición en runtime sin edición en runtime	4096 bytes 4096 bytes	4096 bytes 4096 bytes	8192 bytes 12288 bytes	12288 bytes 16384 bytes	16384 bytes 24576 bytes
Memoria de datos	2048 bytes	2048 bytes	8192 bytes	10240 bytes	10240 bytes
Memoria de backup	50 horas (tip.)	50 horas (tip.)	100 horas (tip.)	100 horas (tip.)	100 horas (tip.)
E/S integradas Digitales Análogicas	6 E/4 S	8 E/6 S	14 E/10 S	14 E/10 S 2 E/1 S	24 E/16 S
Módulos de ampliación	0 módulos	2 módulos ¹	7 módulos ¹	7 módulos ¹	7 módulos ¹
Contadores rápidos Fase simple Dos fases	4 a 30 kHz 2 a 20 kHz	4 a 30 kHz 2 a 20 kHz	6 a 30 kHz 4 a 20 kHz	4 a 30 kHz 2 a 200 kHz 3 a 20 kHz 1 a 100 kHz	6 a 30 kHz 4 a 20 kHz
Salidas de impulsos (DC)	2 a 20 kHz	2 a 20 kHz	2 a 20 kHz	2 a 100 kHz	2 a 20 kHz
Potenciómetros analógicos	1	1	2	2	2
Reloj de tiempo real	Cartucho	Cartucho	Incorporado	Incorporado	Incorporado
Puertos de comunicación	1 RS-485	1 RS-485	1 RS-485	2 RS-485	2 RS-485
Aritmética en coma flotante	Si				
Tamaño de la imagen de E/S digitales	256 (128 E / 128 S)				
Velocidad de ejecución booleana	0,22 microsegundos/operación				

Tabla 4.3.1. Características específicas del modelo

El modelo, se muestra en la figura 4.3.1, que se eligió es el CPU 226 DC/DC/DC, que trabajará con 24 volts alimentados por una fuente de voltaje Schneider y también brindará salidas y entradas en el margen de los 5 volts. La importancia de que el PLC trabaje solo bajo DC es la flexibilidad que brinda para homologar tierras físicas y utilizar una sola fuente al momento del cableado del PLC. Por el número de entradas y salidas, además de que no todas trabajan de manera digital que son el tipo de entradas y salidas que maneja este modelo de PLC. También se utilizarán núcleos adicionales de entradas y salidas analógicas.

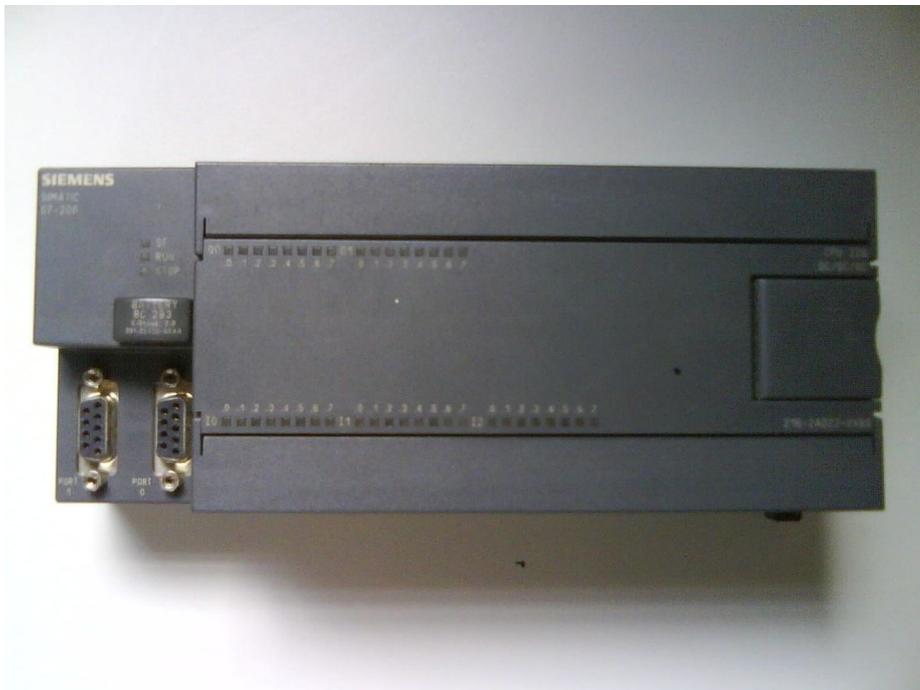


Figura 4.3.1. PLC utilizado: Siemens S7- 200 CPU 226 DC/DC/DC

Otra razón por lo cual se selecciona este dispositivo es que tiene integrado un núcleo de HMI propietario que permite interactuar con un display de la misma marca.

Un sistema HMI genera la interfaz con la que el hombre (operador) y el proceso (máquina/instalación) se comunicaran. Para este caso en particular se utilizarán software propietario, Wincc Flexible, se describirá la programación en el siguiente capítulo.

Comparativas

A nivel internacional existen varias marcas líderes que ofrecen soluciones con PLC, entre ellas: Siemens, Rockwell Automation y OMROM. Basados en las características descritas para elección del PLC, se muestran diferentes opciones de una gama similar la tabla 4.3.2:

Función / Marca	Siemens (S7-200 CPU 226)	Rockwell Automation (1762 MicroLogix 1200)	OMROM (CP1E -E40DR-A)
Entrada digital	24	24	24
Salida digital	16	16	16
Expansión de CPU	7 bloques: cerca de 8 entradas y salidas más por bloque	80 entradas más	Máx 3 bloques: cerca de 8 entradas y salidas por bloque
Salidas analógicas	No	2	No
Puerto de programación	RS- 232	Rs-232	USB
Alimentación eléctrica	24V DC o 120 V AC	24 V DC /120 V AC	24 V DC o 120 V AC
Memoria de programación	4K	2K	2K

Tabla 4.3.2. Comparativa de productos afines para la selección del producto.

Es importante recalcar que la empresa cuenta ya con equipos de esta marca y se inclinan por este producto pero como se puede observar en la tabla anterior las características son muy similares entre los dispositivos pero el PLC de Siemens tiene una memoria superior, además de las facilidades que ofrece la programación y facilidad conectividad con hardware propietario, como las pantallas touch con las que también se cuentan.

Programación del PLC

La programación dividirá el programa en subrutinas ya que son procesos que se repetirán recurrentemente. El uso de subrutinas es importante ya que permite generar bloques de partes del proceso y llamarlos sin necesidad de repetir código por lo que reduce el tamaño del programa. Además, en la programación del PLC mejora ciclos ya que no se elevan tiempos porque la subrutina sólo es leída cuando se llama. Las rutinas elegidas son las siguientes:

- Rutina de preparación de concentrado
- Rutina de dilución y adición de componentes adicionales
- Rutina de distribución a líneas de llenado

Para cada subrutina se tomará en cuenta lo siguiente:

- Botón de inicio: ubicado en la interfaz HMI
- Botón de paro: ubicado en la interfaz HMI
- Bandera de proceso terminado: variable virtual que será desplegada en HMI

Se muestra el esquema de subrutinas en la figura 4.3.2:

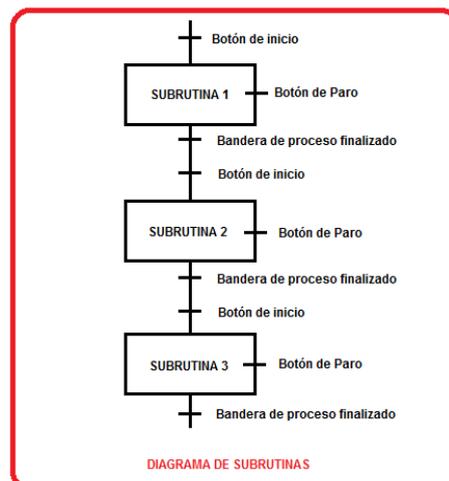


FIGURA 4.3.2. DIAGRAMA DE SUBROUTINAS PRINCIPALES.

Los botones de inicio le permitirán elegir al operador la acción a realizar, los botones de paro se generan para emergencias o alarmas detectadas. La bandera de proceso terminado limita a comenzar el siguiente proceso.

SUBROUTINA DE PREPARACIÓN

La primera subrutina, correspondiente a la preparación de concentrado, Se muestra en la figura 4.3.3, el diagrama de flujo general de la primera subrutina:

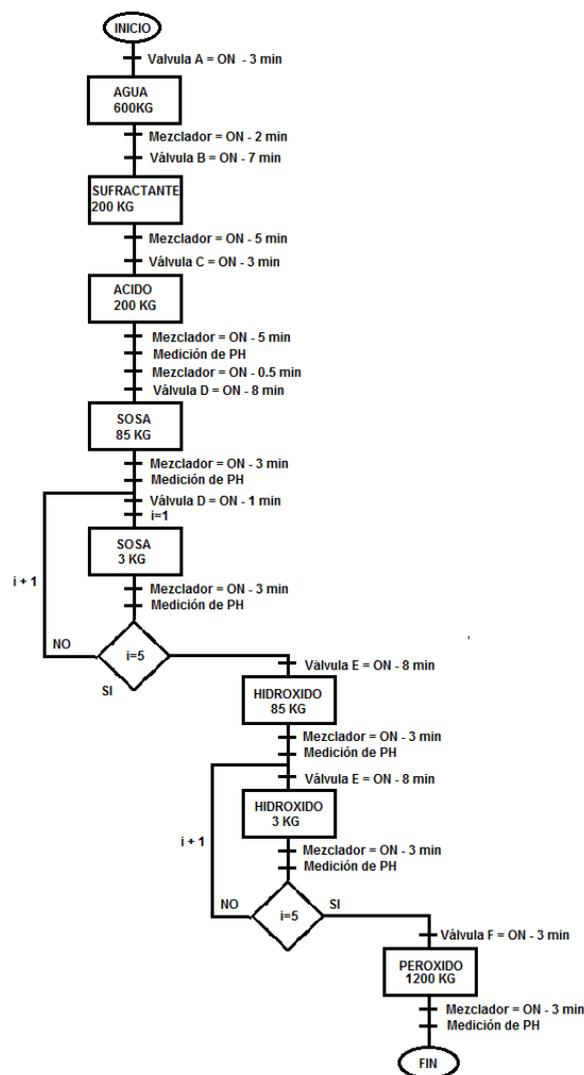


Figura 4.3.3. Diagrama General de Primera Subrutina

A partir de este análisis del diagrama de flujo se puede plantear la programación del PLC de la primera subrutina.

Se comienza con una sección de arranque y paro con memoria (también llamado **SELF HOLDING**) descrito en la figura 4.3.4:

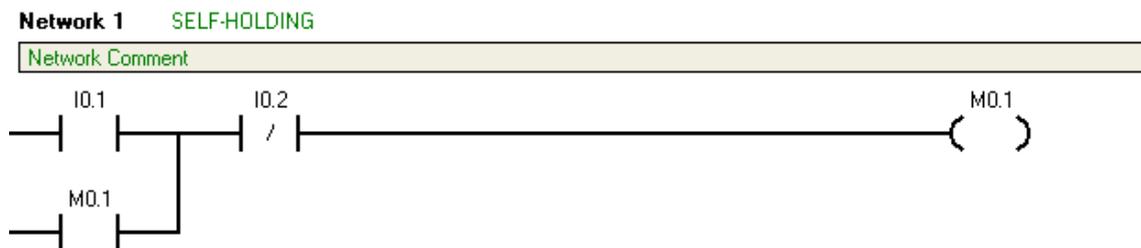


Figura 4.3.4. Sección del diagrama de bloques que corresponde al arranque y paro con memoria

En esta figura se resalta el botón de inicio, I0.1, que es descrito como un contacto normalmente abierto, y la bobina, también mostrada como contacto de anclaje, M0.1, que representa una variable de memoria que ayuda a mantener encendido el proceso mientras no se pulse el botón de paro. El botón de paro está representado con la entrada I0.2, que al ser pulsado termina la continuidad de la red.

Siguiendo con las etapas del diagrama de flujo, se define que cada una de las adiciones de producto está condicionada a seguir cuando se cumpla la anterior. Tomando esto en cuenta, se establecen 2 tipos de posibles dinámicas dependiendo de lo que se debe realizar en dicha etapa: adición de componentes o mezcla/medición.

El primer tipo de dinámica se generará cuando se adicione un componente o cuando se tenga listo un granel y está basando en control de nivel. Esto requiere cubicar el tanque, o establecer con la ayuda del sensor de nivel la equivalencia de cantidad de sustancia, con el fin de poder medir la cantidad de líquido que se recibe en el tanque del concentrado. Para realizarlo, el punto de partida será el

volumen y la geometría del tanque de concentrado ya que el sensor utilizado brinda información de la altura a la que se encuentra el líquido. Se muestra en la figura 4.3.5 el diagrama del tanque de 2.5 toneladas que se utiliza en cada línea.

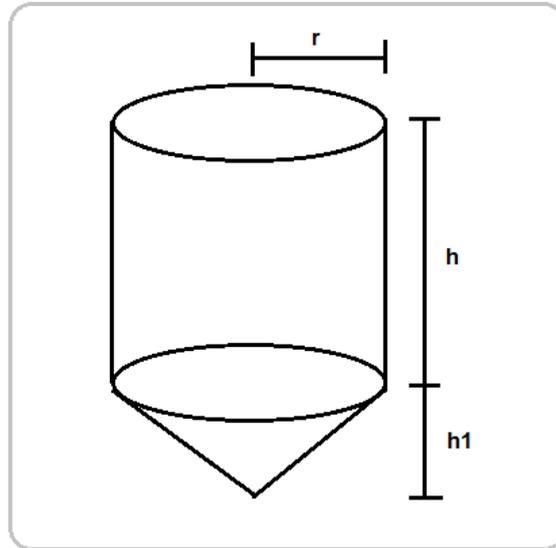


Figura 4.3.5. Geometría del tanque usado para generación de granel

Como se observa en el diagrama anterior, está compuesto por un cilindro y un cono que comparten un radio de 0.7 metros. La variable h y la variable h_1 serán colectadas por el sensor de nivel. Los valores totales de h y h_1 son de 1.5 y 0.4 [mts].

Ya que todos los compuestos están prediluidos en agua, la referencia para la conversión será la densidad del agua y como resultado se tiene que cada centímetro cúbico es equivalente a un gramo. Por lo que sólo se usarán las formulas estándares de volumen del cilindro y del cono. Las formulas siguientes son mostradas como recordatorio del cálculo del volumen para el cilindro (ecuación 1) y para el cono (ecuación 2).

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad \text{- ecuación 1}$$

$$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h_1 \quad \text{- ecuación 2}$$

En el caso del cilindro, como los demás valores fueron ya determinados, al despejar la variable correspondiente a la altura, se simplifica el cálculo al convertir

el resto de la ecuación en una simple constante. La constante para cálculo del volumen del cilindro se obtiene como sigue:

$$1 \cdot 0.7 \cdot 1.53938 \text{ m} - \text{constante 1}$$

En el caso del cono no es aplicable el análisis anterior ya que el radio del cono no es el mismo si se varía la altura. Para este cálculo, se parte del radio inicial y la altura inicial que son datos conocidos y se plantea un valor que no cambie. El valor seleccionado es la pendiente de la línea generatriz. En la siguiente figura, 4.3.6, se muestra el análisis para el cálculo de la pendiente.

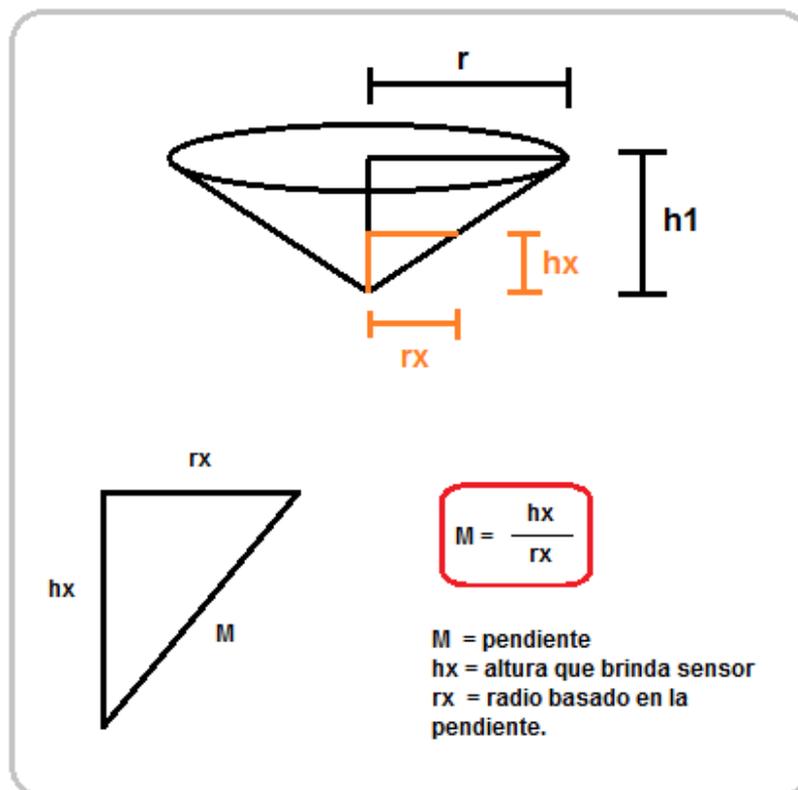


Figura 4.3.6. Diagrama de cálculo de la pendiente de la línea generatriz

Basándose en lo anterior se toman los parámetros conocidos para obtener la pendiente que será la constante para el cálculo de radio.

$$\frac{0.40}{0.7} = 0.5714 - \text{constante 2}$$

Retomando que la altura se adquiere por el sensor y no se requiere memoria se tiene la siguiente premisa,

A partir de lo anterior, se propone el siguiente cálculo para los radios. Ya que se cuenta con la constante, se despeja el radio de la formula que se describe en la figura 4.3.6

— — ecuación 3 – cálculo de radios

Por consiguiente del volumen del cono con la formula estándar, ecuación 2, queda como sigue:

—— - ecuación 4 – cálculo de volumen con variación de altura

En programación, el control de nivel se llevará en una subrutina cuando se habilite la válvula. En la figura 4.3.7, se muestra cómo se manda llamar a la subrutina de control de nivel (subr0).

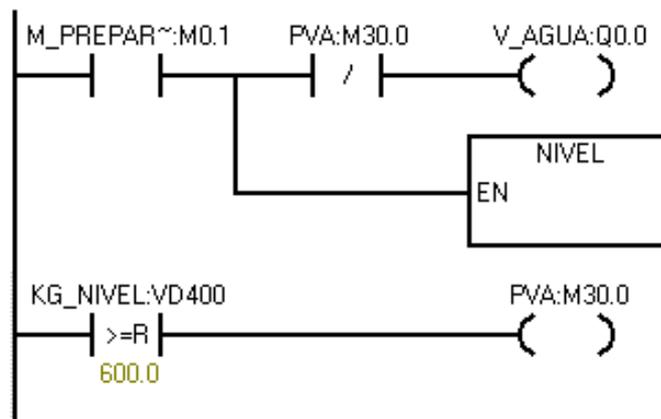


Figura 4.3.7. Apertura de válvula y comparación de control de nivel

Dentro de la subrutina, se muestrea N1 y hace cálculo de volumen dependiendo de la posición. Se muestra este proceso en diagrama de escalera en la figura 4.3.8.

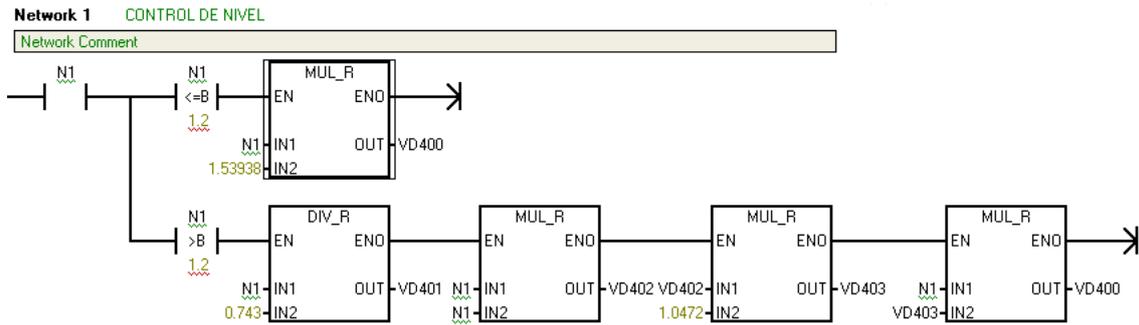


Figura 4.3.8. Subrutina de control de nivel.

La variable VD400, que se obtiene en esta subrutina, se define como única porque no se puede estar simultáneamente en 2 posiciones y no requiere memoria de dicha información.

En el diagrama 4.3.7 también se integra la etapa final del control de nivel donde se genera la comparación con la cantidad de compuesto que se requiere. Si la variable no es igual o mayor al valor estipulado, se vuelve a llamar a muestrear el nivel. Si al comparar es igual al valor establecido, la variable virtual AN (o A negada) generará la solicitud de cierre de válvula al cortar la continuidad en el peldaño donde sigue abierta la válvula real. Esta dinámica es aplicable para cada adición de componentes y se importante resaltar que etapa tras etapa se toma el nivel anterior como punto de partida para el control de nivel, es decir, si se agregaron 1000 kg de componentes previamente y se agregarán 85kg de otro compuesto, la comparación para habilitar el cierre de la válvula se hará a 1085.

La siguiente dinámica para la adición de componentes, aplicable cuando se genere una medición o se requiera mezclar, se basará en un temporizador que se encadenará a la variable del proceso anterior, iniciará el tiempo establecido para dicha etapa y al finalizar el tiempo, finalizará dicha etapa. Se muestra la mecánica en la figura 4.3.9.

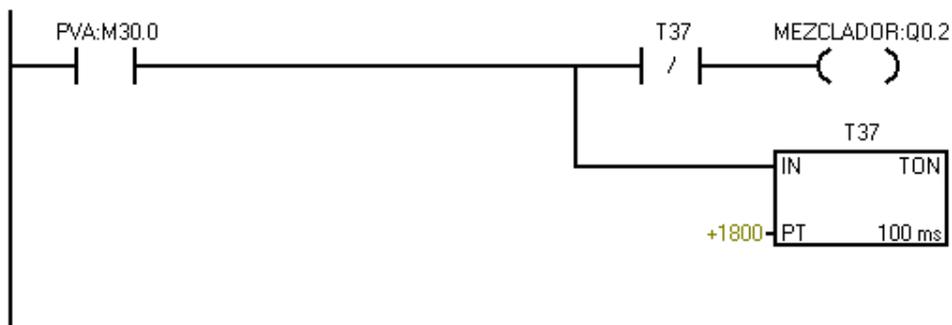


Figura 4.3.9. Diagrama de escalera de encendido de mezclador.

En esta parte de la programación puede verse que el inicio depende de la variable de la etapa pasada (PVA) que indica que la válvula ha sido cerrada. Así mientras se activa el mezclador, el primer temporizador (T37) comienza el conteo del tiempo requerido y, a su vez, la misma variable está asociada con el contacto normalmente abierto que generará el apagado del mismo mezclador cuando el tiempo se termine. Así se asegura que cuando la este activa y se acabe el tiempo especificado para ella, inicie la siguiente etapa y así se finalice con el orden debido en base al tiempo que cada etapa debe cumplir.

La adición de los componente, como se observa en el diagrama de flujo, es casi cíclica con excepción de algunas acciones adicionales que se generan entre la adición de un componente a otro, una de estas acciones es la medición de pH. Cabe resaltar que la medición de pH es usada en el proceso para dos fines: validar la homogeneidad de la mezcla y validar que se encuentre el pH de la mezcla en un punto en específico. Por ende, se establecen 2 subrutinas, una en la que las mediciones no generen una diferencia mayor al margen de ± 0.5 del valor establecido para dicha etapa o se deberá repetir la etapa de mezclado; y otra en la que el valor determinado para la mezcla este dentro del margen de error especificado. En caso de que se cumpla con la condición de comparación arrojará una bandera o variable virtual que permitirá continuar con la siguiente etapa.

Para trasladar a la programación se tiene que establecer un intervalo cerrado en el que se permita habilitar la bandera de producto homogéneo. En caso contrario generar 2 intervalos abiertos que complementen el intervalo cerrado para mandar instrucción de mezclar nuevamente.

En la figura 4.3.10, se muestra el programa de escalera para validar la homogeneidad de la mezcla.

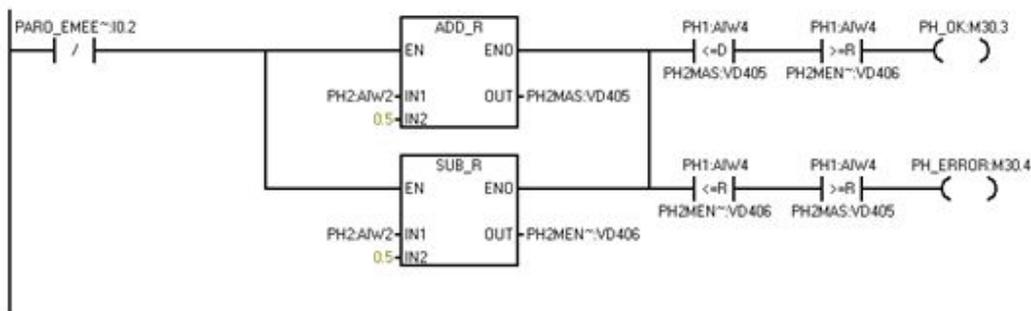


Figura 4.3.10. Medición de pH para validar homogeneidad de mezcla

La programación de escalera para validar el valor específico de la mezcla de concentrado es básicamente la misma rutina que la figura 4.3.10 pero en serie se agrega la comparación con el valor final de pH fijado en 8 con un margen de ± 0.5 . El diagrama de escalera también necesita establecer intervalos la única diferencia es que el valor de referencia no es otra entrada de medición de pH, sino un valor determinado para la mezcla.

Si el valor muestreado está dentro del intervalo cerrado se habilita bandera de producto terminado; si se está fuera del intervalo cerrado, se debe desechar el producto por no cumplir con especificaciones de calidad.

Finalmente, otra de las acciones adicionales que se generan para la subrutina de la preparación es la adición consecutiva de cierto componente. De acuerdo al diagrama de flujo la sosa es administrada 5 veces antes de pasar al siguiente compuesto por lo que se implementó un contador que llame a subrutina de

adición de sosa, esta subrutina incluye la adición de sosa, mezclado y medición de pH.

La figura 4.3.11 muestra la dinámica que manda llamar a subrutina y genera el conteo.

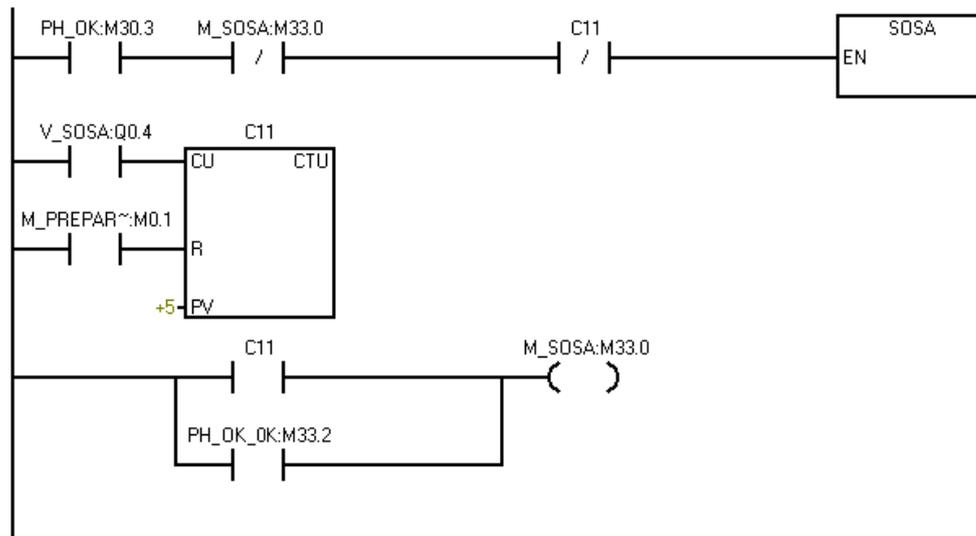


Figura 4.3.11. Diagrama de escalera del contador incremental para eventos de sosa.

El contador incremental, o C11, aumenta cada que la válvula de sosa es abierta y se regresa 0 cada vez que se inicia la subrutina de preparado. Es mostrado también un arreglo OR en el que puede habilitarse la marca de sosa (M_SOSA) que fue creada como bandera para finalizar este ciclo. Las opciones que habilitan esta marca son que el valor establecido para el PH sea el correcto para esta etapa o que el contador llegue al número de adiciones establecidas.

Al final de la subrutina de preparado se genera una última medición de pH que validará si el producto está en un rango completo y habilitara la bandera para la siguiente etapa.

SUBROUTINA DE DILUCIÓN

Al inicio de esta etapa se deberá contar con las siguientes banderas que habilitaran que operador pueda seleccionar un tanque para dilución:

- Bandera de pH final correcto del concentrado.
- Bandera de presión baja.

Esta última bandera indica que la presión en la tubería previa a la selección de las válvulas para la etapa de distribución está llena por eso si esta bandera está como activa, no puede generarse una nueva dilución porque generaría una sobrepresión y error en la línea.

En la figura 4.3.12 se ejemplifica el inicio de este proceso en lenguaje de escalera:

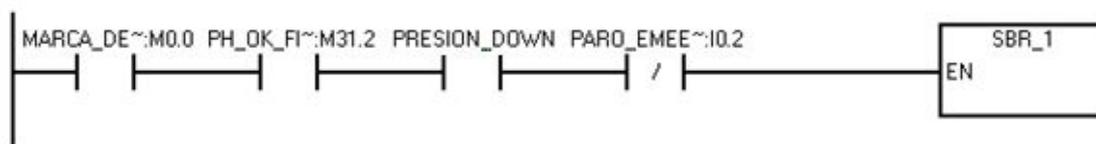


Figura 4.3.12. Arranque de subrutina de dilución

Cuando es iniciada la rutina, empieza a fluir el concentrado en la tubería y el control de dilución comienza. El control en la tubería está basado en un lazo cerrado donde la variable de entrada será el flujo que proporcionan los medidores y la variable de salida es la frecuencia que será administrada a los motores por el variador de frecuencia.

El control proporcional planteado toma como base la relación que existe en el flujo y la frecuencia del motor, así como la proporción que existe entre las sustancias que se adicionaran (específicamente la proporción de dichos flujos).

El control comienza a partir de características del motor de la bomba. En el caso del primer nivel del control, el motor utilizado para la bomba es de 1/4 hp, iniciara

con una frecuencia de 60 Hz y administrará el componente prediluido a través de una tubería de 1/4 pulgada. El desarrollo es el siguiente:

$$P = \frac{1}{4} \quad \text{-- constante 3}$$

$$60 \quad \text{-- constante 4}$$

$$2.9491 \cdot 10^{-1} \text{ m} \quad \text{-- constante 5}$$

La constante anterior describe la dinámica del motor y fue obtenida mediante experimentación.

$$K = \frac{0.5000 \cdot 54}{373 \cdot 2.9491 \cdot 10^{-1}} \quad \text{-- ecuación 5}$$

$$K = 0.0003484 \cdot 10 \quad \text{-- constante 6}$$

A partir de la relación de frecuencia y flujo

$$\cdot K \quad \text{-- ecuación 6}$$

Se obtiene el flujo correspondiente a la bomba 1:

$$1.25 \text{ /m} \quad \text{-- constante 7}$$

A partir del flujo y de acuerdo a la proporción de producto que se agrega, se genera el porcentaje de mezcla en función a flujos:

$$48 \quad \text{-- ecuación 7}$$

Ahora, la ecuación que regirá el control se genera como:

$$1 = \frac{\text{---}}{4 \text{ ---}} \quad \text{-- ecuación 8}$$

Estas ecuaciones se generan para cada uno de los controles en cascada. A partir de etapas subsecuentes debe tomarse en cuenta la suma de los flujos previos, aunque todas las bombas comenzaran a trabajar a 60 Hz. En la tabla de

resultados, 4.3.1, se colocan las constantes y formulas que regirán cada etapa del control:

Etapa	Características de motor (hp)	Características de tubería (pulgadas en diámetro)	Proporción	Control de proporción
1	¼	¼	2%	1 $\frac{\quad}{48 \frac{\quad}{1}}$
2	¼	¼	2%	3 $\frac{\quad}{49 \frac{\quad}{3}}$
3	2	2.5	10%	4 $\frac{10}{\frac{4}{4}}$

Tabla 4.3.1. Características de los motores, proporción y formula de control para cada etapa de control de la dilución.

La simulación de parámetros para corroborar la validez del control a 60 Hz se muestra en la Figura 4.3.2.

FRECUENCIA DE ENTRADA [HZ]	FLUJO DE ENTRADA [L/M]	FRECUENCIA DE BOMBA 1 [HZ]	FLUJO DE BOMBA 1 [L/M]	FRECUENCIA DE BOMBA 3 [HZ]	FLUJO DE BOMBA 3 [L/M]	FRECUENCIA DE BOMBA 4 [HZ]	FLUJO DE BOMBA 4 [L/M]
F2	QF2	F1	QF1	F3	QF3	F4	QF4
60	45.144	60	1.25	60	1.25424	60	500.04
		45.144	0.943690176	44.99138921	0.9405	56.42548596	470.25
		44.99138921	0.9405	44.99138921	0.9405	56.42548596	470.25
		44.99138921	0.9405	44.99138921	0.9405	56.42548596	470.25
		44.99138921	0.9405	44.99138921	0.9405	56.42548596	470.25
		44.99138921	0.9405	44.99138921	0.9405	56.42548596	470.25
		44.99138921	0.9405	44.99138921	0.9405	56.42548596	470.25
			PROPORCION		PROPORCION		PROPORCION
			48		49		10

Tabla 4.3.2. Simulación de control con frecuencia inicial de 60 Hz.

Si existiera algún cambio en la frecuencia de entrada o frecuencia inicial la simulación comprueba que se respete la proporción y los flujos. Vea tabla 4.3.3.

FRECUENCIA DE ENTRADA [HZ]	FLUJO DE ENTRADA [L/M]	FRECUENCIA DE BOMBA 1 [HZ]	FLUJO DE BOMBA 1 [L/M]	FRECUENCIA DE BOMBA 3 [HZ]	FLUJO DE BOMBA 3 [L/M]	FRECUENCIA DE BOMBA 4 [HZ]	FLUJO DE BOMBA 4 [L/M]
F2	QF2	F1	QF1	F3	QF3	F4	QF4
30	22.572	30	1.25	30	0.62712	30	250.02
		11.286	0.235922544	22.4956946	0.47025	28.21274298	235.125
		22.4956946	0.47025	22.4956946	0.47025	28.21274298	235.125
		22.4956946	0.47025	22.4956946	0.47025	28.21274298	235.125
		22.4956946	0.47025	22.4956946	0.47025	28.21274298	235.125
		22.4956946	0.47025	22.4956946	0.47025	28.21274298	235.125
		22.4956946	0.4703	22.4956946	0.4703	28.21274298	235.125
			PROPORCION		PROPORCION		PROPORCION
			48		49		10

Tabla 4.3.2. Simulación de control con frecuencia de 30 Hz.

El cálculo descrito en líneas anteriores debe desglosarse en lenguaje escalera por niveles. Primero, como se describe en la figura 4.3.13, deben fijarse la frecuencia inicial de arranque, que inicialmente (SUB1) que habilitará el pase a la subrutina que seguira las variables.

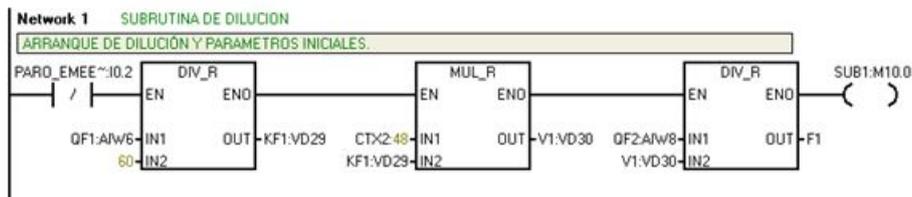


Figura 4.3.13. Arranque de dilución para primer control a 60 Hz.

El siguiente nivel contempla que ya se han completado los 3 etapas de control descritas por las formulas de la tabla. Por lo que al habilitarse estas 3 etapas activaran subrutina como se muestra en la figura 4.3.14.

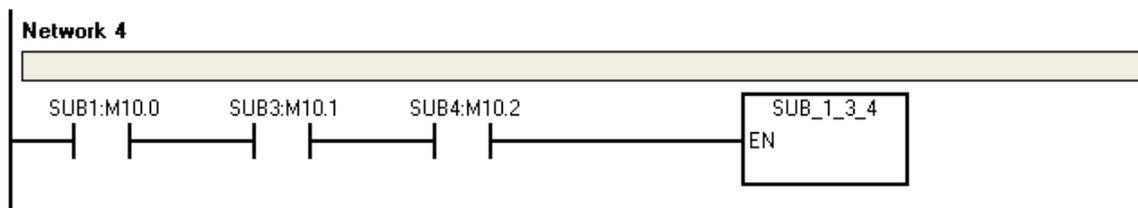


Figura 4.3.14. Activación de subrutina de dilución con bandera de parámetro inicial.

Dentro de la subrutina se llevará a cabo una dinámica similar a la de proceso 1 pero en ella sólo se manejarán los parámetros que se obtengan de la retroalimentación. La figura 4.3.15 muestra la correspondiente programación.

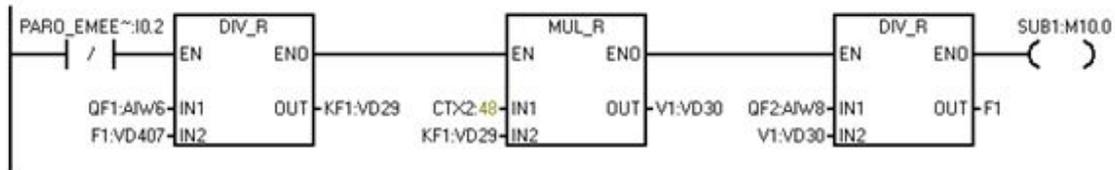


Figura 4.3.15. Subrutina de dilución con parámetros obtenidos de retroalimentación.

Una vez que la bandera de presión esté activa, se habilitará la siguiente etapa o subrutina, en la que se seleccionará la llenadora a utilizar.

SUBROUTINA DE DISTRIBUCIÓN

Después de la dilución se activará la bandera de presión, el botón de inicio de esta etapa y la selección de cualquier llenadora disponible. Una vez seleccionada la llenadora, se establece por default el nivel tanque que alimenta la llenadora a un 100 % de la capacidad. El usuario podrá habilitar el nivel y si deberá mantenerse a ese nivel para seguir abasteciendo a la llenadora o esperar a que se vacíe el tanque. La programación correspondiente se muestra en la figura 4.3.16.

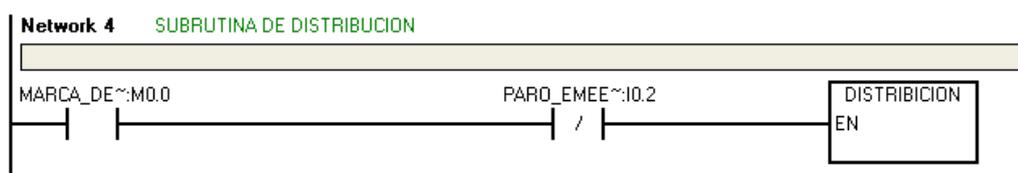


Figura 4.3.16. Inicio de subrutina de distribución.

Para trasladar a la programación se debe primero contemplar que la válvula debe abrirse y cerrarse para mantener el nivel de la válvula por eso se define como anclar la entrada de la válvula que elija el usuario. En el siguiente diagrama,

4.3.17, se describe cómo se anclan las entradas con ayuda de variables temporales como MPA.

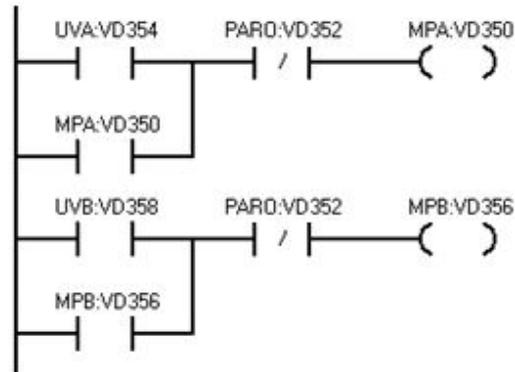


Figura 4.3.17. Dinámica para mantener activo el nivel usando self-holding.

En la figura 4.3.18 se observa que una vez anclada la selección de usuario, se define adicionalmente un juego de compuertas cerradas que servirán para delimitar que puedan activarse ambas válvulas por error. A modo de seguridad también se genera un bloqueo de la variable para el usuario en pantalla.

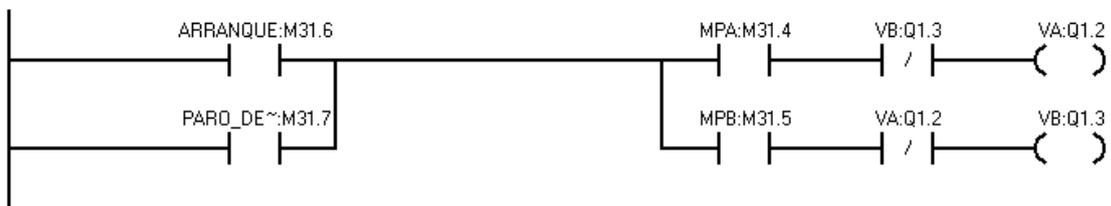


Figura 4.3.18. Dinámica de cierre de válvulas.

Con ayuda de la entrada anclada por el usuario se establece por comparación que nivel definido por el usuario y el nivel de tanque, como se ve en la figura 4.3.19. De este modo, puede pedirse que se cierre y se abra válvula.

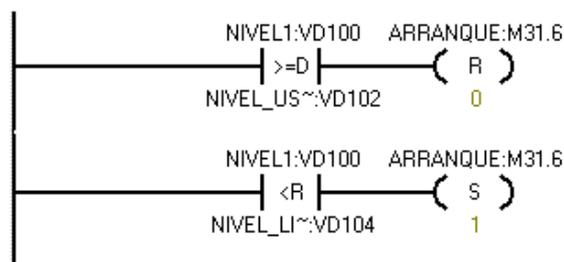


Figura 4.3.19. Comparación de niveles para el cierre de válvulas.

En la siguiente figura (4.3.20) se observa la lógica para establecer el nivel que se define por usuario evitando que la válvula se abra y cierre con pequeñas variaciones. Se establece que el usuario podrá fijar un nivel desde pantalla entre el 100 % a 25%, y el sistema encenderá la válvula cuando se llegue a la mitad del nivel establecido.

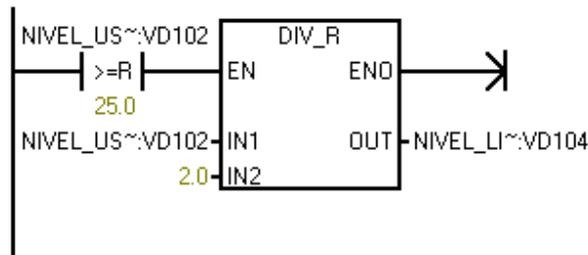


Figura 4.3.20. Lógica de comparación de niveles para el cierre de válvulas.

Cuando el usuario decida que ya no desea mantener el nivel, sólo debe establecer un nivel debajo del 25 % y la válvula quedará abierta hasta que se vacíe. (Ver figura 4.3.21 y 4.3.18)

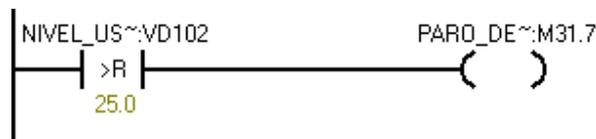


Figura 4.3.21. Comparación de niveles para el cierre de válvulas.

Así cuando el nivel que establezca el usuario sea cero se vaciara el tanque y se podrá generar la limpieza del tanque.

SUBROUTINA DE LIMPIEZA

Como se ha comentado en capítulos anteriores, la limpieza del tanque es parte fundamental de la automatización del proceso que en estos momentos se realiza de manera manual y es muy repetitiva.

Cuando un tanque ha sido vaciado deben retirarse los residuos con agua. Después de esto, se agrega alcohol a cierto porcentaje de dilución para sanitizar el tanque.

La programación de limpieza de tanque, que es aplicable para cada tanque, se inicia con la selección de la opción de limpieza por el usuario que iniciará la apertura de válvula (figura 4.3.22)

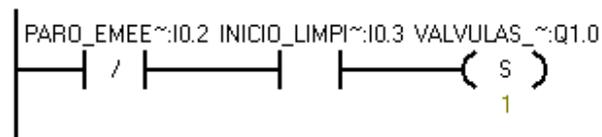


Figura 4.3.22. Inicio de subrutina de limpieza

La válvula de drenaje estará activa todo el tiempo mientras se genere el enjuague y la sanitización.

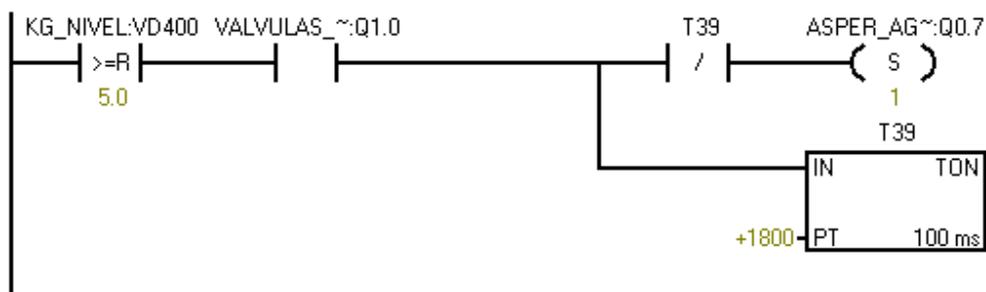


Figura 4.3.23. Inicio de subrutina de limpieza

En la figura anterior, 4.3.23, se observa que mientras se tenga un nivel mayor a 5 litros, se encenderá el aspersor de agua que durante 3 minutos generará un enjuague del tanque.

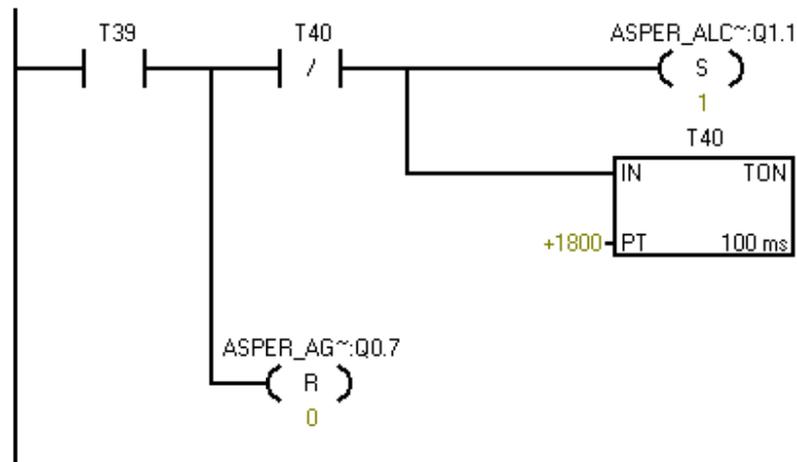


Figura 4.3.24. Inicio de subrutina de limpieza

Cuando esto se termine (ver figura 4.3.24), se activará el indicador del temporizador y habilitará el siguiente aspersor que verterá alcohol que sanitizará el tanque. Este aspersor también estará encendido por 3 minutos. Finalizado lo anterior, cuando el indicador del último temporizador se active, se cerrará válvula de drenaje y se mandará marca de limpieza terminada. Esto activará indicador a pantalla. Esto puede observarse en la figura 4.3.25.

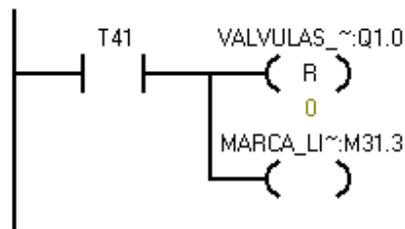


Figura 4.3.25. Cierre de válvula de desagüe y marca de limpieza terminada.

4.4. Pantallas de Operación del Sistema.

Este apartado de la tesis en general está enfocado a la forma de construcción y de la visualización integrada al control, que se hace directamente por el operador. Esta parte le da la formalidad al proyecto ya que se visualiza, y se tiene un control centralizado y se tiene una perspectiva panorámica del control del proceso.

Las pantallas son similares operativamente, de esta forma será fácil manipular una u otra; se decidió tener un diseño simple y con intervenciones mínimas; esto con el objetivo de evitar en lo posible meter variables humanas al proceso y en lugar de dejar a criterio del operador los parámetros, estos son fijados y simplemente se tienen visualizaciones de los estados de trabajo y se hacen básicamente paros y arranques desde estos paneles. Las opciones fueron pensadas para que la manipulación sea objetiva, evitar errores de operación, sea amigable, de información concisa y bien definida.

Es un hecho que visualmente se puede tener un mejor diseño y esta referencia es exclusivamente a la apariencia, pero por tratarse de un proceso industrial, este deberá ser de intervención rápida y concisa, evitando información y opciones que desvíen la atención de las actividades clave y a su vez centrándose en tareas específicas.

Hardware y Software usados para la visualización.

El hardware que se usara será una pantalla de tipo TP 177A de la marca Siemens, se aprovechan sus ventajas táctiles, con el objetivo de reducir botones físicos y evitar cableado innecesario, esta pantalla permite optimizar operaciones y visualizaciones sin necesidad de gran capacidad de almacenamiento o de procesamiento. Una de sus desventajas es que esta es tipo monocromática pero esta mas que ser una limitante; será aprovechada para evitar contaminación visual y de esta forma simplificar aun más las tareas de intervención humana; se

presenta en la figura 4.4.1 y 4.4.2 las distintas perspectivas de la pantalla que se utilizara.



Figura 4.4.1 Vista Frontal y lateral de la pantalla TP 177A.



Figura 4.4.2 Vista trasera e inferior de la pantalla TP177A.

El software usado será WinCC Flexible 2008. De la marca Siemens. Por la flexibilidad que presenta para la programación de esta pantalla, además de que es escalable en el sentido de poder tener el respaldo y hasta poder hacer una modificación o actualización a los menús previamente definidos sin tener que hacer una nueva configuración o tener el mismo modelo de pantalla, Se presentan las pantallas de bienvenida del Software en la figura 4.4.3, de Trabajo en la figura 4.4.4 y Área de Edición en la figura 4.4.5.



Figura 4.4.3 Pantalla de bienvenida del software de programación

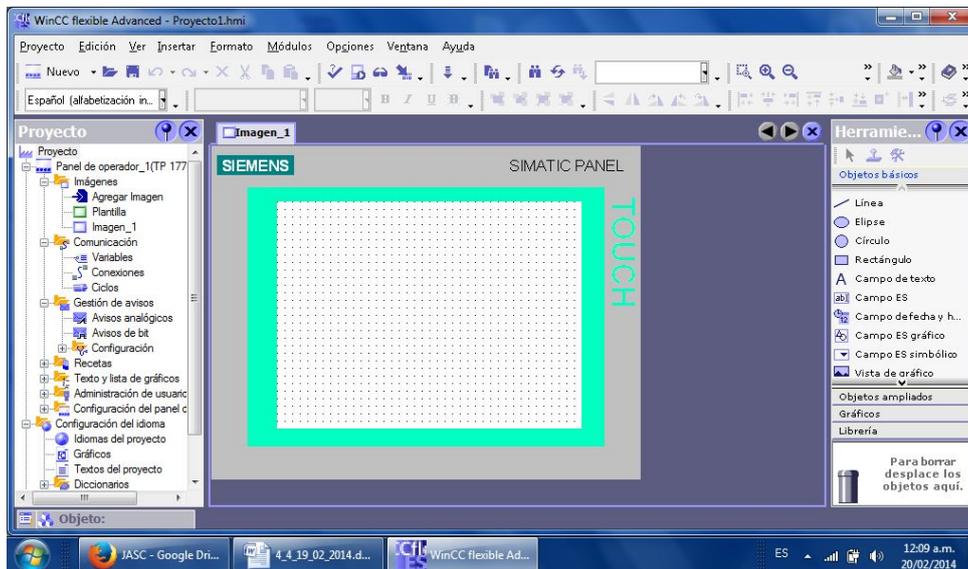


Figura 4.4.4 Pantalla de trabajo de WinCC

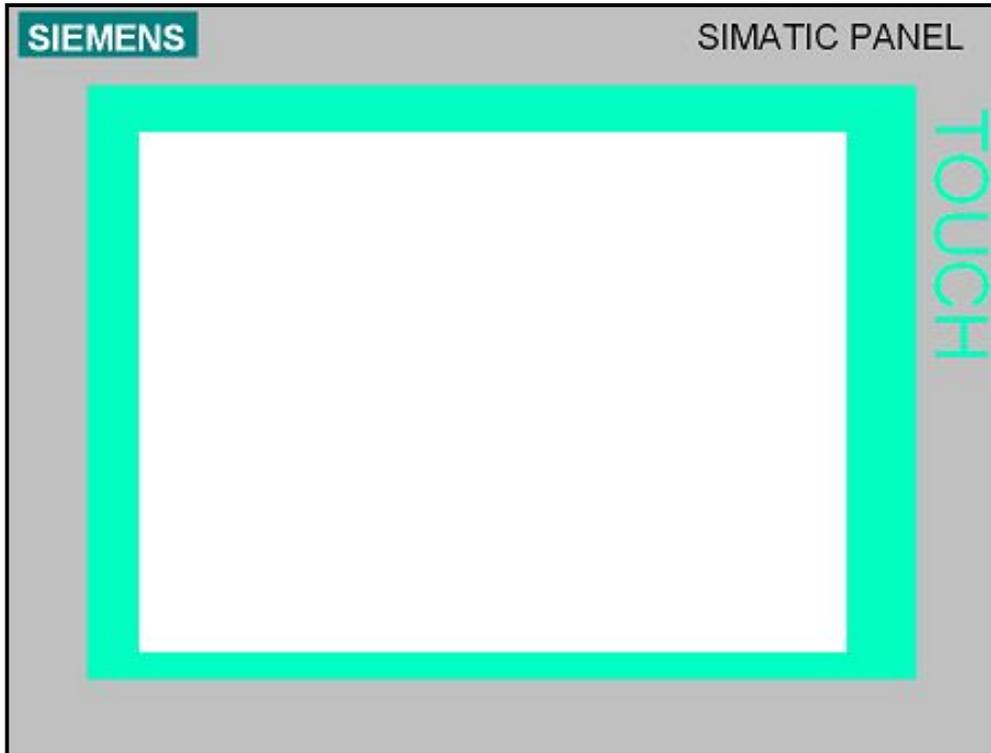


Figura 4.4.5 Área de edición, presentación y diseño.

Las pantallas que se desarrollaron son 3 principales, que hacen reseña a cada uno de los tres procesos primordiales que se han definido en este trabajo, ya que otras tendrán una función similar a cualquiera de estas tres pero trabajando con procesos en paralelo; Se han agregado otras que serán igualmente necesarias para poder tener una mejor interacción; las pantallas definidas son las siguientes:

- Pantalla de bienvenida.
- Menú de opciones.
- Pantalla de Preparación de Granel. (4 pantallas; una por tanque).
- Pantalla de dilución. (2 pantallas; una por producto diluido)
- Pantalla de distribución a líneas.
- Pantalla de mantenimiento con contraseña.

Definición de banderas para la integración al control y principio de comunicación entre dispositivos.

Antes de hacer la presentación y desarrollo de las diferentes pantallas será necesario definir algunas variables que intervendrán en común con la HMI y el PLC, esto para realizar un adecuado funcionamiento, tener una lógica de control estable y que pueda tener comunicación la pantalla con el PLC; se tendrán que definir algunas confirmaciones en el programa, los cuales indicaran y marcaran la pauta entre un proceso y otro, y a su vez permitirán que una sola instrucción actúe, esto quiere decir que se tendrá que definir algunos espacios de memoria de común lectura y escritura.

El ejemplo más claro para lograr entender y hacer esto se plantea a continuación: un actuador cualquiera (Salida del PLC Q0.0), el cual se activa con la detección de una entrada cualquiera definida como (Entrada del PLC I0.0). Ver la figura 4.4.6 para ejemplificar.

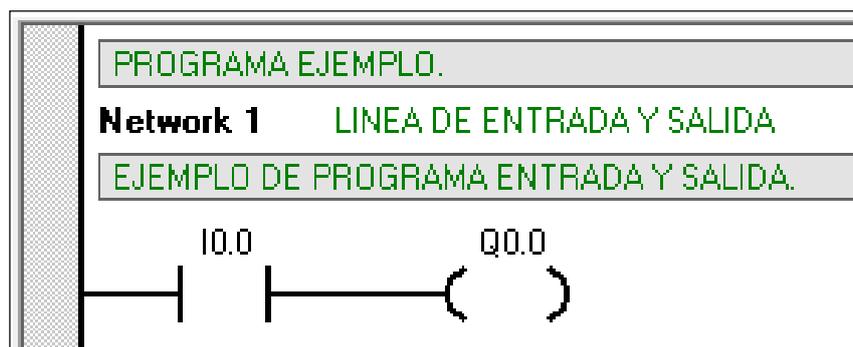


Figura 4.4.6 Pantalla de programa de entrada y salida directa.

Ahora esta misma salida requiere ser activada a través de la pantalla y se define que requiere movilizar la variable de salida en paralelo, para lograr tal acción ambos elementos tendrán que desear lo mismo; en la interfaz de la pantalla se define una variable a la cual también tendrá acceso el PLC se ejemplifica en la pantalla figura 4.4.7, 4.4.8 y 4.4.9.

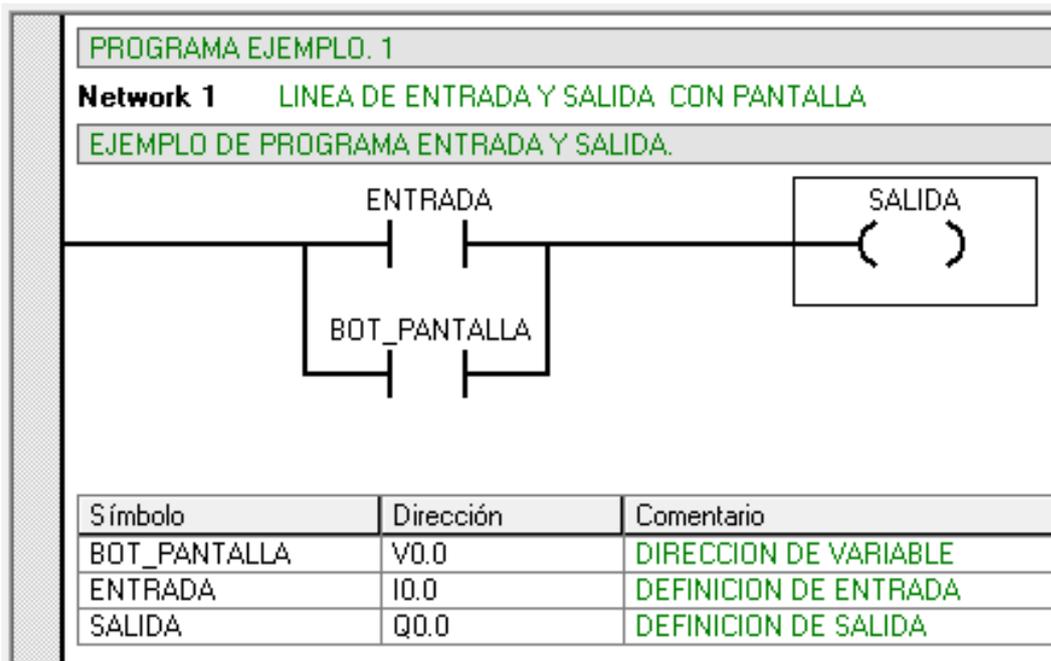


Figura 4.4.7 Pantalla de botón para activar la salida Q0.0.

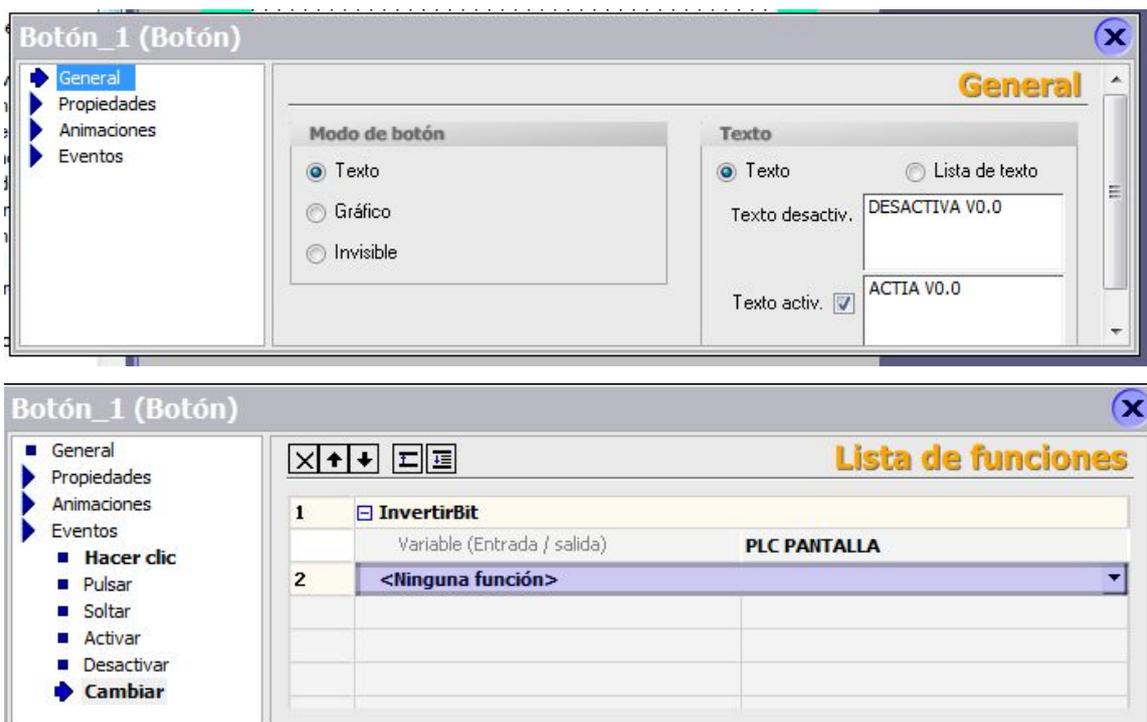


Figura 4.4.8 Pantalla de definición de atributos del botón.

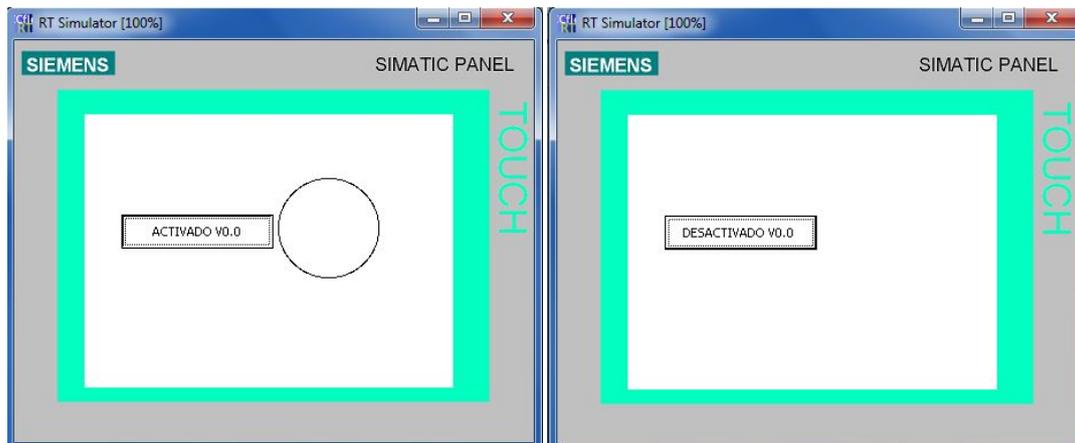


Figura 4.4.9 Pantalla de Activación de salida por pantalla y por Entrada directa. Esto ejemplifica la forma de funcionamiento en que se comunicaran ambos dispositivos y da una panorámica para poder entender como se realizara la comunicación de el proceso con 2 dispositivos.

Presentación de pantallas.

Después de comprender como se hace la interacción entre estos dos dispositivos se podrá continuar con la presentación de cada una de las pantallas, las variables que se manejan en común, la estructura de control a la que se hace referencia, los avisos y las funciones que tendrán.

Pantalla de bienvenida.

Esta pantalla esta programada para iniciar al arranque del sistema y dar una presentación; En la cual se indicara el nombre del Sistema, y un botón que mandara al menú, En la figura 4.4.10 Puede apreciar la pantalla con su botón y sus leyendas.



Figura 4.4.10 Pantalla de Bienvenida del sistema.

Menú de opciones.

En esta pantalla encontrara un concentrado de botones, los cuales dirigen a las diferentes ventanas que se manejan en el sistema, el botón de bienvenida que direcciona a la pantalla de bienvenida, el botón de preparación que es el que despliega la pantalla con los indicadores, progreso y actuadores para realizar el granel, el botón de dilución que muestra las distintas pantallas para la dilución del concentrado a alguna de sus dos variantes, el botón de líneas el cual hace la interacción con los depósitos de diluido a cada una de las líneas y finalmente el botón de mantenimiento el cual conduce a una pantalla en la cual se deberá pasar por una contraseña y desde donde podrá activar y desactivar los diferentes actuadores así como visualizar algunas variables de interés que servirán de ayuda al momento de realizar algún mantenimiento; se muestra la pantalla en la figura 4.4.11 con su distintos botones.

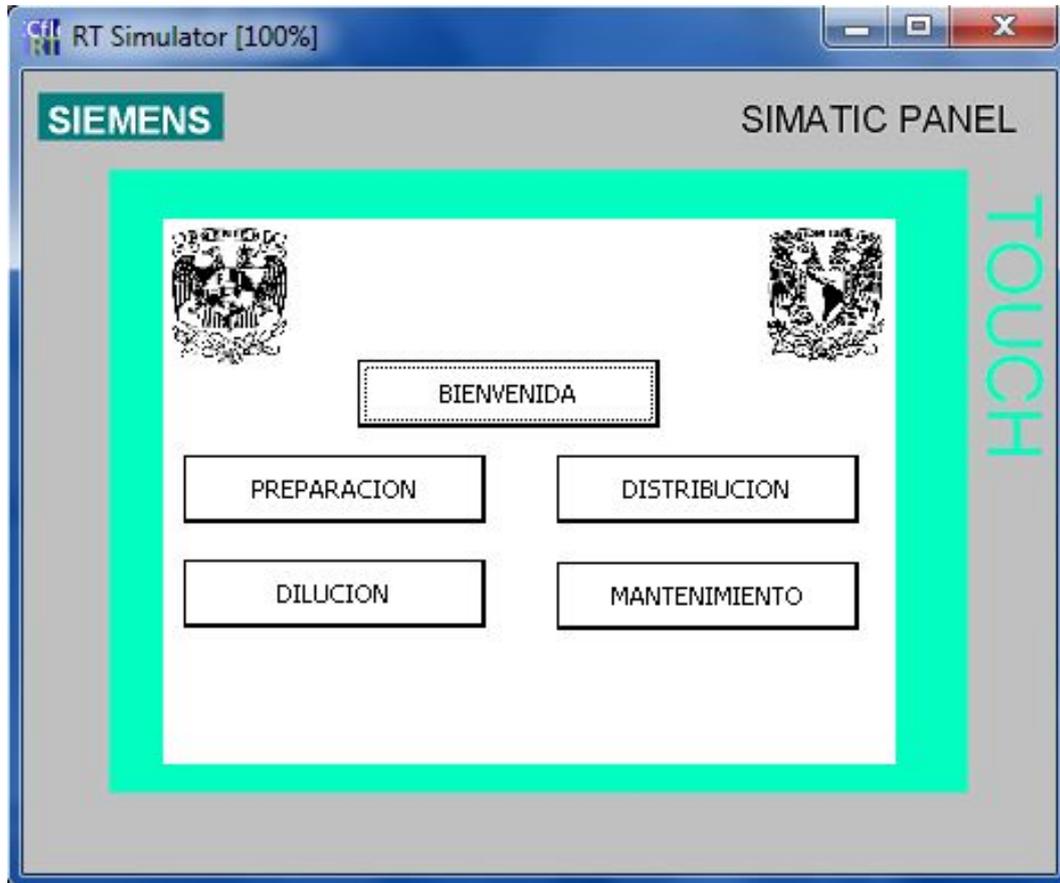


Figura 4.4.11. Pantalla de Menú principal.

Pantalla de Preparación de Granel. (4 pantallas; una por tanque).

En esta pantalla se visualizarán cada uno de los tanques de preparación de granel concentrado, con sus diferentes opciones para agregar los componentes, así como el progreso de avance y su etapa en la que se encuentra, aquí además se hace el lavado de un tanque, la indicación y confirmación de que alguno está preparado y listo para su uso en la etapa siguiente. Se muestra la pantalla en la figura 4.4.12 la cual describe el proceso y la forma de operar.

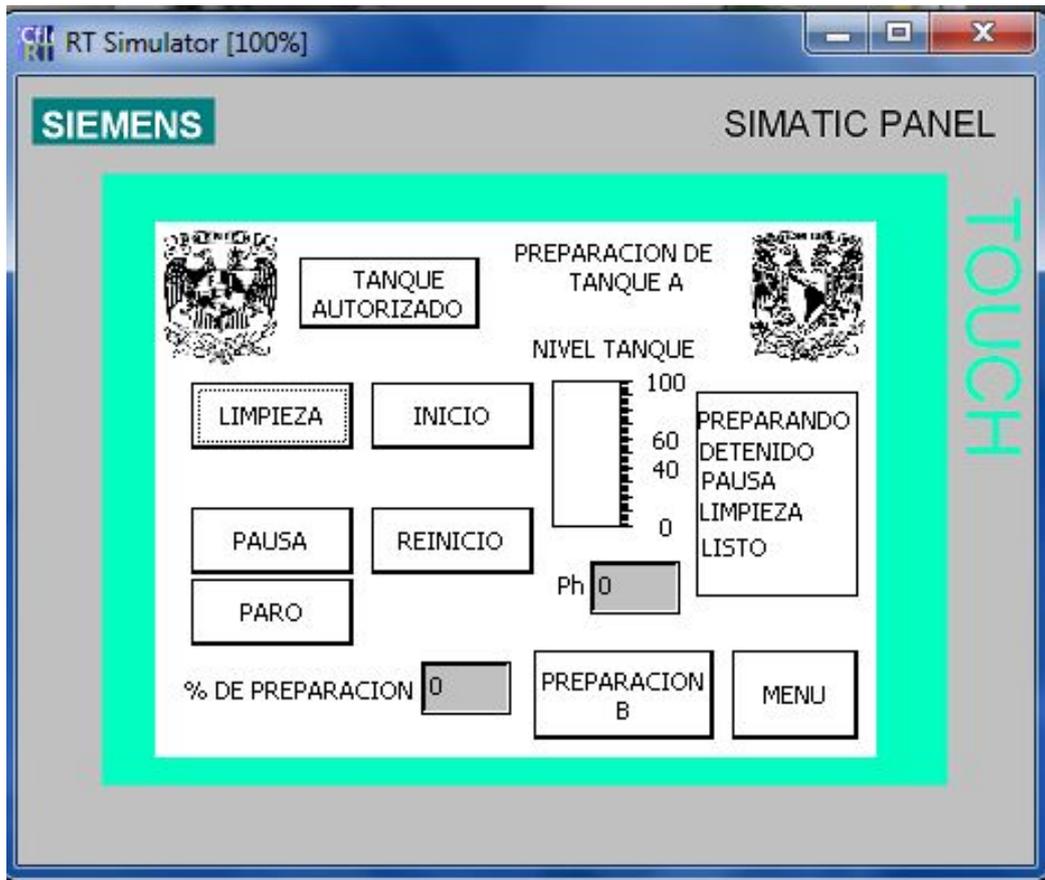


Figura 4.4.12. Pantalla de Preparación de Granel.

Pantalla de dilución. (2 pantallas solo una por producto diluido)

Esta pantalla dará la opción de iniciar y tener vigente la dilución en todo momento, estas serán dos pantallas sin embargo ambas hacen exactamente la misma lógica y función pero en paralelo ya que cada una de ella mantiene el sistema presurizado y listo para ser usado cuando se requiera en cada una de las líneas. En la figura 4.4.13 se visualiza la pantalla que pone el sistema a trabajar y mantiene el sistema listo para el arranque automático.

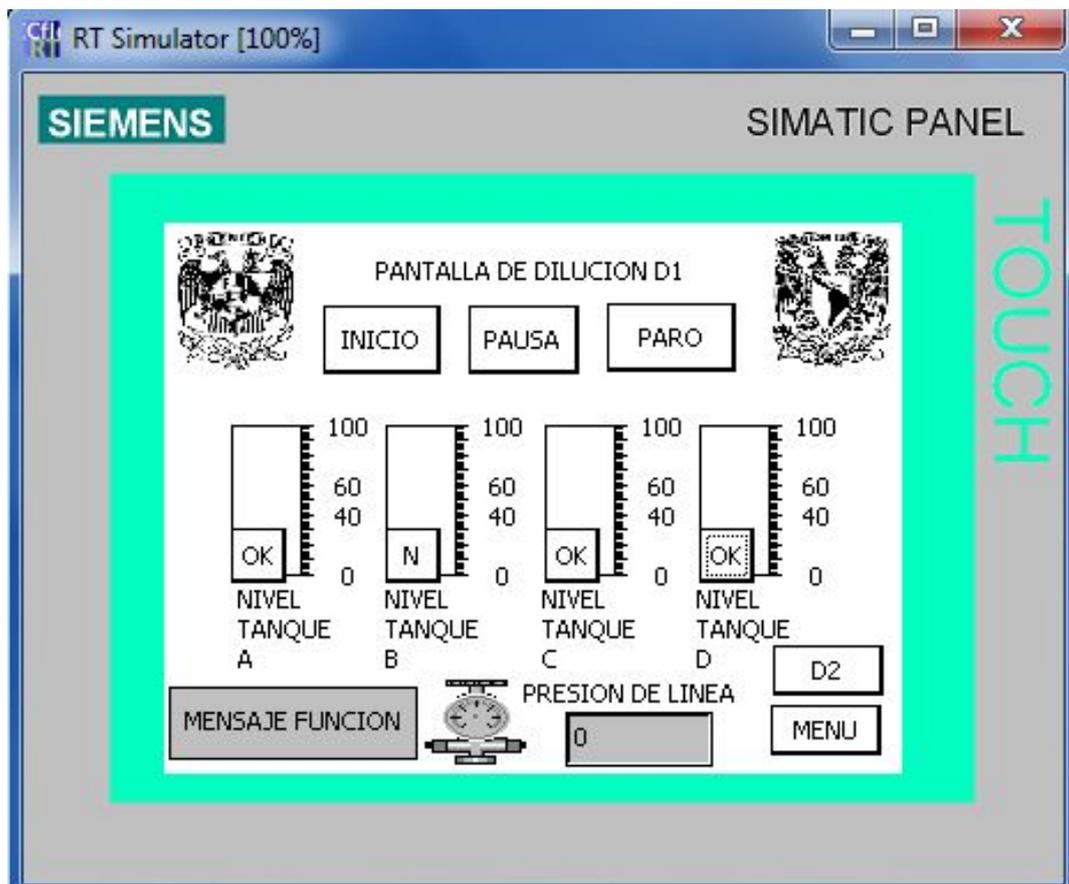


Figura 4.4.13. Pantalla de dilución.

Pantalla de distribución a líneas.

Esta pantalla muestra la manera en que se quiere o se está realizando la dilución a las líneas, la selección de la formula así como, el lavado de los tanques y el cambio si se requiere. En la figura 4.4.14 se observa la manera de selección en que se hace la distribución hacia las distintas líneas.

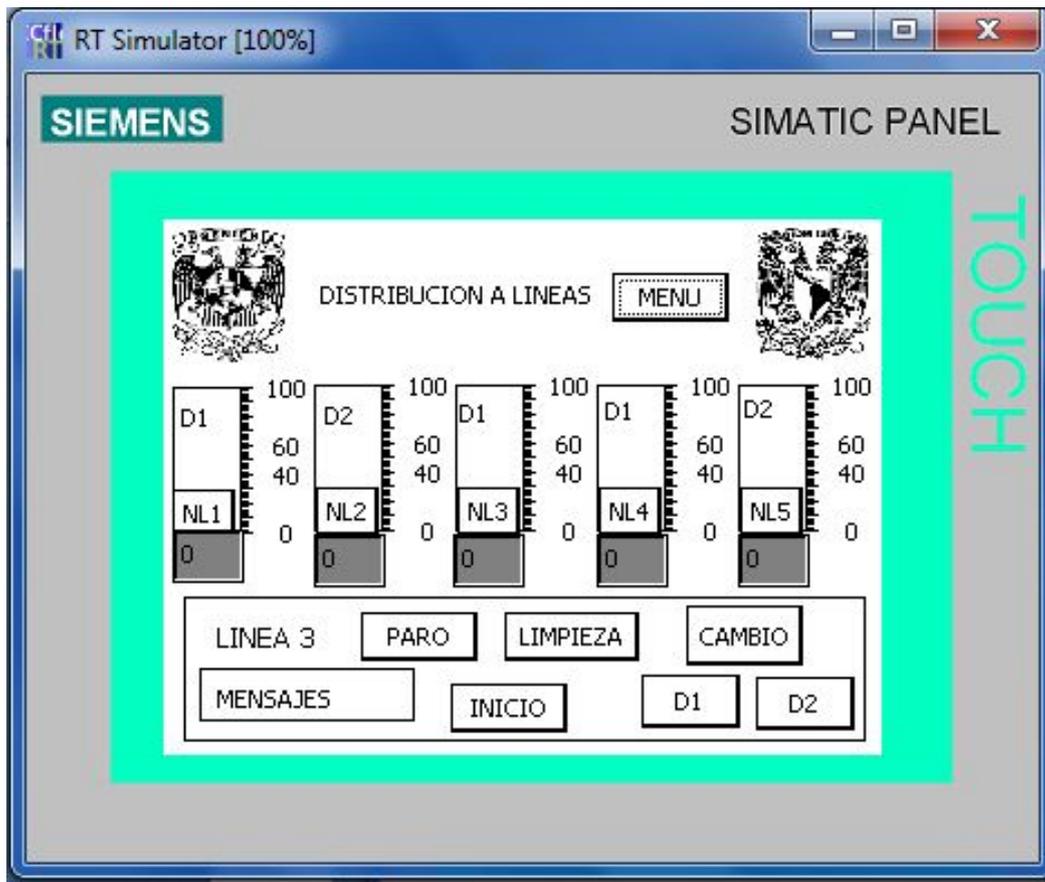


Figura 4.4.14. Pantalla de selección y distribución hacia las líneas.

Pantalla de mantenimiento con contraseña.

Esta pantalla será sumamente importante a la hora de presentarse alguna actividad de mantenimiento correctivo o preventivo ya que permitirá forzar entradas o salidas sin necesidad de alguna terminal de programación o algún programador. Esta estará protegida para evitar el mal funcionamiento del sistema.

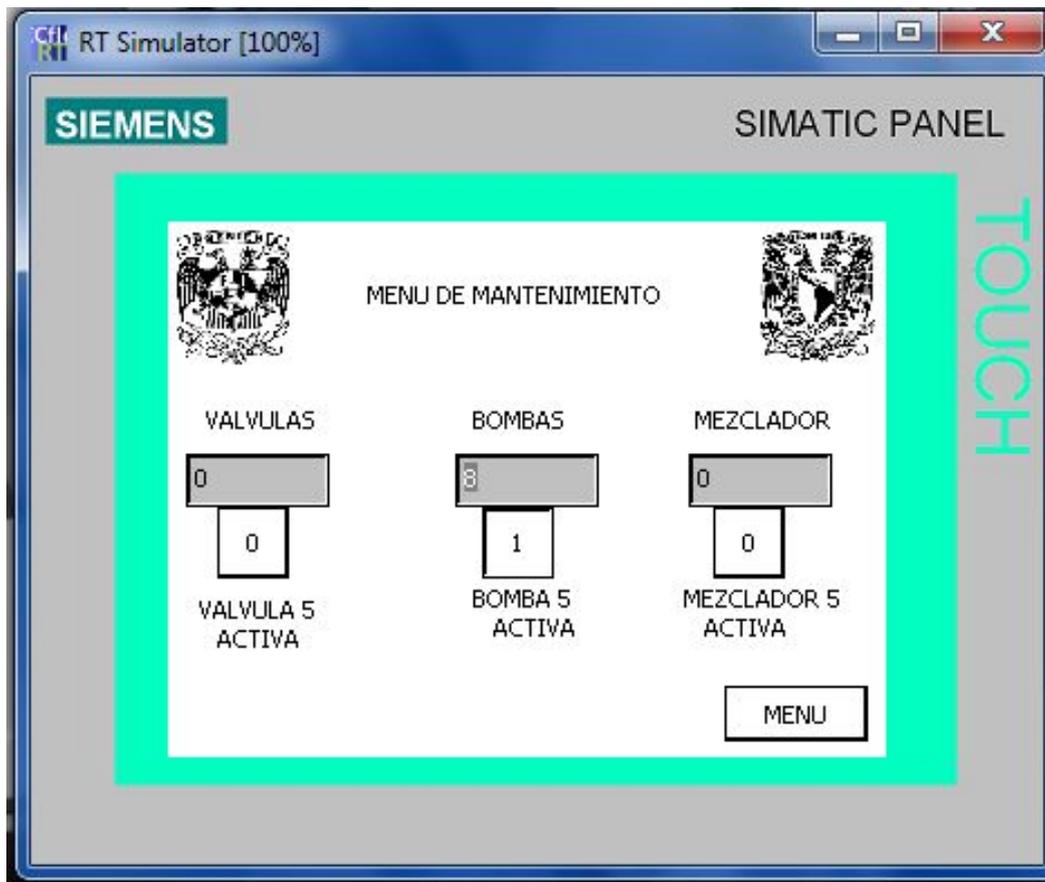


Figura 4.4.15. Pantalla de Mantenimiento.

4.5. Pruebas, evaluación y comparativa del proceso actual contra el anterior

Teniendo como referencia la fundamentación teórica analizada, se verificó la interacción de los distintos procesos bajo el asesoramiento del personal involucrado en la producción. Gracias a esto, se logró diagnosticar el sistema actual a través de la filosofía de operación y control de la planta. Una vez comprendido lo anterior y teniendo claros todos los subsistemas involucrados, se encontró lo siguiente:

La planta carece de un sistema de control automatizado en este momento, lo cual genera a la empresa altos costos de mantenimiento y de operación, los cuales fueron explicados en la carta de Gantt en el capítulo 3.5.

Se realizó un análisis de varias alternativas en cuanto a sistemas de control (S7 400 de Siemens, Fanuc 90-70 de General Electric y ControlLogix de Allen Bradley), transmisores de doble onda guiada serie 3300 de Rosemount (serie 3301 y serie 3302) e interfaz hombre-máquina, (Multipanel 370 de Siemens y Panelview 1000 Color DE Allen Bradley) existentes en el mercado de acuerdo a criterios y requerimientos de funcionamiento de la planta así como también las normas de PDVSA K-300, K-307 y K-308. Es importante hacer notar en este punto que de acuerdo al capítulo 3.2, los requerimientos generales de la empresa marcaban de inicio utilizar el PLC S7 de Siemens, aunque de alguna manera se contemplaron algunas otras opciones.

Se procedió a seleccionar los equipos e instrumentos que mejor se adaptaban a las necesidades operacionales que se originaron del diseño de la lógica de control para la Planta.

Los equipos seleccionados fueron el PLC Siemens Simatic S7-200, la interfaz de operador Simatic Panel Touch de Siemens, una terminal de control MM420 de Siemens, así como medidores de flujo Sitrans F M Magflo MAG5000 de Siemens,

sensores de nivel LS-1750 de la marca GEMS, válvulas de flujo de la marca Danfoss modelo PN 16 AMZ 112, y medidores de PH Siemens Strantol System PH Sensor.

Por último se logró definir la arquitectura de control del sistema de automatización, tomando en cuenta parámetros y necesidades operacionales en cuanto a comunicación de datos importantes que generan los sensores presentes en los procesos que se originan en los subsistemas que integran a la planta.

4.5.1 Pruebas y evaluación

Se realizó el armado del sistema, como simulación, utilizando los sensores indicados, así como el PLC, y se corrieron pruebas previas en gabinete para evitar algún problema al realizar el armado directamente en la línea de producción y correr el riesgo de alterar económicamente a la planta con la pérdida de producción de un día, o bien, generando retrasos en la misma.

Se realizó la programación, tanto del PLC como del Panel View, utilizando lenguaje escalera, para facilitar su comprensión, realmente los pasos del proceso son sencillos, y bastante comprensibles al momento de realizar la programación.

Al momento de realizar el armado y programación se detectaron dos posibles problemas que podían surgir, uno de ellos, fue el adicionar un botón de paro automático a toda la línea de producción, esto pensando en cualquier problema humano que pudiera surgir, se adicionó como una entrada programada al PLC, para que al presionarlo, se detenga la operación de todos los elementos controlados por el mismo (bombas, válvulas, etc.)

Otro detalle que se encontró al realizar el armado, fue que no se tenía contemplado de forma inicial una situación de riesgo potencial, este se presenta cuando por alguna razón se activa la válvula que suministra el compuesto a los

tanques donde se adiciona y mezcla la fragancia y el colorante, y dicha válvula por alguna falla mecánica se atasca, cabría la posibilidad de generar una sobrepresión en las tuberías del sistema, por ello fue necesario adicionar una condición tal que permitiera determinar la presión segura de operación del sistema, y adicionar un sensor adicional que permita estar monitoreando de forma continua y a malla cerrada dicho valor, y si este llega a valores fuera del rango establecido, también se genere una condición de paro automático de todo el sistema con el aviso de “chechar presión en válvulas”.

Al realizar las pruebas finales, se observa que el sistema fluye de forma estable, Se simularon las diferentes condiciones posibles de operación, tanto de la planta como tal, así como cada uno de los componentes.

Se realizó un proceso superpuesto en la implementación, es decir, después de verificar en gabinete la estabilidad del sistema y de cada uno de sus componentes, así como de la respuesta esperada de sensores y salidas de control, se procedió al armado directo utilizando una línea de producción que se encontraba detenida específicamente para ello. Al dar la señal de inicio del proceso, se solicitó al personal (operarios), que monitorearan todos los puntos de control, es decir, se colocó un par de operarios que verificaron que el vertido de componentes fuera el adecuado, Validado este punto, se colocó un par de operarios verificando el mezclado y su homogeneidad, lo cuál también se validó, así como el funcionamiento de las bombas y mezcladora. Al llegar al punto del agregado de sosa cáustica, un par de operarios se encargaron de medir el PH para validar el funcionamiento de los medidores de PH, este era un punto crítico en el proceso debido tanto al riesgo por manejo de sustancias peligrosas, como por lo determinante que resulta el tener un PH adecuado en el producto de acuerdo a normas. Este punto también se validó satisfactoriamente. Finalmente, también se pudo comprobar la función de paro manual de la línea de producción, ya que se utilizó para detener el proceso y realizar las mediciones manuales.

Finalmente, y en presencia del responsable de la planta, se validó el funcionamiento del sistema armado.

4.5.2 Comparativa entre ambos procesos

Como ya se ha podido observar a través de los diagramas de Gantt, económicamente el proyecto es totalmente viable, se generan ahorros considerables así como reducción de riesgos e impactos ambientales en el proceso. Al reducir el modelo a solo dos tanques de concentrado para toda la planta, en vez de 5, se requerirá menor cantidad de personal para atender estos tanques, y con ellos logrará surtirse de concentrado a todas las líneas de producción. El concentrado que manejan estos tanques es afín para las diferentes variedades de productos que se generan, por lo que las tuberías de dilución trabajan solamente con una sola variedad de compuesto, es decir, se tienen líneas específicas para adicionar cada colorante y fragancia, por lo que se evita el tener que vaciar el concentrado, y generar la limpieza del tanque y tuberías si es necesario producir otro tipo de fragancia o colorante. Además, estos componentes se adicionarán de forma automática.

La forma planteada de adicionar y diluir los componentes permite tener un mejor control para la selección del producto, así como del empaquetado y llenado de una línea en particular, no es necesario dedicar toda la planta a producir un solo producto (aunque en caso necesario el sistema puede hacerlo de forma automática solo seleccionando en pantalla lo que se requiere).

Al ser un sistema de control planteado en malla cerrada, esto permite retroalimentar la señal de salida y corregir los errores que puedan generarse en el proceso sin la intervención de operarios en el mismo,

De manera adicional, al tener dos tanques, se tiene automáticamente una línea de respaldo, es decir, la vulnerabilidad de la línea de producción a fallas, accidentes y mantenimientos disminuye considerablemente.

4.5.3 Recomendaciones

Monitorear de forma cercana la implantación y puesta en marcha de este proyecto, para verificar que los parámetros de operación se mantengan dentro de las normas indicadas tanto por la conformidad del producto como de STPS, así como la validación de el ahorro económico planteado mediante un análisis semanal.

Será necesario de igual manera, modificar y documentar los procedimientos existentes, para evitar no conformidades en cualquier auditoría que se presente, así como anexar los nuevos instructivos de trabajo de acuerdo a la automatización de la planta y su difusión a todo el personal involucrado.

CONCLUSIONES

- Referente al proyecto
 - ✓ Se cumple con el objetivo propuesto, se obtiene la automatización del proceso, lo cuál redundará en un ahorro considerable en tiempos, que impacta directamente en la economía de la planta.
 - ✓ Como beneficio adicional, se incrementa de forma significativa la seguridad del personal que labora en la planta, al evitar casi por completo la interacción de los mismos con las sustancias potencialmente peligrosas con las que se trabaja
 - ✓ Se homogeniza la calidad del producto resultante, al haber construido un sistema de control de malla cerrada, las concentraciones no varían como anteriormente sucedía, por lo que se tiene un producto homogéneo y con los valores adecuados de pH y dilución al final de la línea de producción.
 - ✓ Se documentó la realización del sistema, así como su funcionamiento, ya que fue un requisito de la planta, para poder realizar modificaciones al diseño en caso de ser necesario, cabe aclarar que se omitieron algunos nombres y fórmulas de las que la empresa es propietaria.

- Referente a los conocimientos aplicados
 - ✓ Se aplicaron conocimientos adquiridos sobre teoría de control, programación en general, particularizando al PLC utilizado, análisis de circuitos eléctricos, etc.
 - ✓ La utilidad de las enseñanzas obtenidas en la UNAM, fue fundamental para la construcción de este proyecto de automatización y control, ha sido un ejemplo práctico y claro de cómo llevar el

conocimiento adquirido en las aulas al ámbito industrial y a la vida práctica

- ✓ Reafirmó cuenta de primera mano, de que es de vital importancia el mantenerse actualizados en todo el conocimiento que se genera día con día en lo referente a nuevos dispositivos y sus periféricos.
- ✓ Resaltó que la metodología de solución de problemas aprendida en la Facultad de Ingeniería, facilita encontrar soluciones alternativas a distintos obstáculos que se presentan, ya que en el desarrollo como ingenieros se debe enfrentar de forma diaria problemas que requieren una solución óptima, y esto solo se puede lograr a través de un buen análisis, metodología y diseño para la construcción de la solución deseada.

- Referente a la empresa

- ✓ Resultó muy interesante el laborar en conjunto con los operarios, ya que de primera mano se puede observar tanto el proceso como las necesidades de los trabajadores y la problemática que existía al ser un proceso prácticamente manual.
- ✓ Al ser una empresa recién certificada en un Sistema de Gestión Integral, la parte de Seguridad en el trabajo y la parte de Impactos Ambientales toman una gran importancia, al automatizar el proceso se mejoraron ambos rubros al incrementar la seguridad de los trabajadores, estos impactos resultan muy positivos para el Sistema de Gestión
- ✓ En la cuestión de Calidad en el producto, al haber realizado el control en malla cerrada, se evitan diferencias entre lotes de producto, lo cual impacta de forma positiva también en la parte de calidad del mismo.
- ✓ Uno de los requerimientos principales de la empresa, fue trabajar con las marcas con las que se tenía algún acuerdo comercial

(Siemens concretamente), o bien, con los dispositivos existentes en la empresa, lo cuál acotó un poco la posibilidad de diseño, sin embargo representó un reto el adaptarse y obtener una solución concreta a pedido del cliente.

- Referente a la enseñanza adquirida en la Facultad de Ingeniería y al apoyo recibido por el PAT
 - ✓ Fue determinante el apoyo brindado por parte del PAT, desafortunadamente, en la vida diaria, se deja de lado la titulación ya que no se cuenta con un asesoramiento claro, conciso y preciso sobre este tema, a pesar de la existencia del seminario de titulación que se imparte en la Facultad de Ingeniería, el PAT, y el ritmo de trabajo que se genera de él, así como la metodología lograda, deja ver gracias al apoyo de los funcionarios como del asesor, que el “pulir” la metodología aprendida en la Facultad de Ingeniería es de total utilidad a la hora de realizar un reporte escrito como este.
 - ✓ Gracias al aprendizaje obtenido a través del PAT, no solamente se logró resolver el presente problema, sino que se adquirió una gran diversidad de herramientas útiles todas en la vida práctica y profesional como ingenieros.
 - ✓ Es muy importante el compromiso que se adquiere al ingresar al PAT, tanto el compromiso con la institución, el compromiso con los compañeros, pero sobre todo el compromiso con nosotros mismos, dada la diversidad de generaciones que conforman cada grupo, sin embargo, las reglas son claras desde el inicio, y definitivamente es una excelente opción para personas que como nosotros, que han dejado un poco de lado, y por diversos motivos, la titulación.

BIBLIOGRAFIA

- **Johann Friederich Gülich, Centrifugal Pumps, 2ª Edición. Editorial Springer**
- **Siemens, Manual del Sistema de Automatización S7-200 SIEMENS, México, 2011**
- **Frank Petruzella, Programmable Logic Controllers, 4ª Edición, Editorial Mc Graw Hill**
- **M. Morris Mano, Michael D. Ciletti, Digital Design, 4ª Edición, Editorial Prentice Hall**
- **Perez Adrover Elvin, Introduction to PLCs: A beginner's guide to Programmable Logic Controllers 1ª Edición, Editorial Elvin Perez Adrover**
- **Stephen P. Tubbs, Programmable Logic Controller (PLC) Tutorial, Siemens Simatic S7-200 1ª Edición, Editorial Stephen Philip Tubbs**

- **Sami Fadali M. Visioli Antonio, Digital Control Engineering, Analysis and Design, 2ª Edición, Editorial Academic Press**

Sitios Web Consultados

- **<http://www.sunrom.com>**
- **<http://www.globalw.com/downloads/WL400/WL400manual.pdf>**
- **<http://www.cmo-pompe.it/sito/?q=es/node/49>**
- **<http://www.siemens.com/answers/mx/es/>**
- **<http://www.automation.siemens.com/mcms/sensor-systems/es/pages/home.aspx>**
- **<http://ab.rockwellautomation.com/es/sensors-switches>**