

**SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISIÓN PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE
HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCIÓN DE EMPAQUES
BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL**

**Luz Dary Patiño Jiménez
William Enrique León Hoyos**

**Director
Ing. Juan Fernando Flórez Marulanda**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL
POPAYÁN
2011**

INTRODUCCIÓN

El alto grado de contaminación que está sufriendo el planeta debido a la cantidad de gases tipo invernadero que se emiten hacia la atmósfera, los diferentes desechos producto de los procesos industriales (sólidos y lixiviados) y producción incontrolada de empaques derivados del petróleo, han llevado a la comunidad internacional a adoptar medidas que permitan contrarrestar este hecho, a través de una serie de acuerdos y reglamentaciones, obligando a las industrias a establecer formas de producción más limpias así como a la utilización de nuevos materiales en los procesos de producción.

Es así como en varios países del mundo materiales como los polímeros sintéticos, están siendo gradualmente reemplazados por materiales que cumplan con las condiciones de degradabilidad biológica y/o fotoquímica, específicamente de fuentes naturales, como polímeros de origen vegetal, animal o microbiano [1]. En consecuencia y en aras de aportar al bienestar ecológico mundial, este trabajo de grado pretende dar continuidad a este proceso con el desarrollo de un Sistema de Monitoreo y Supervisión para el Proceso de Hidrólisis de Harina y Almidón de Yuca en la Producción de Empaques Biodegradables a Nivel Industrial, haciendo énfasis en que este SCADA aparte de permitir supervisar y monitorear el proceso mediante el cual se hidroliza harina/almidón de yuca y se obtiene materia prima para la producción de termoformados y películas plastificantes, es un medio que facilita el uso correcto de los equipos que hacen parte de la celda de proceso y contribuye además en la investigación que se viene desarrollando en torno a la producción de empaques biodegradables pues, primero establece un procedimiento claro y metódico de cómo llevar a cabo el proceso de hidrólisis y segundo genera un completo reporte con la información relevante de cada lote hidrolizado.

Las etapas que permiten alcanzar el objetivo propuesto en el anteproyecto han sido definidas de la siguiente manera:

1. Apropiación del proceso de hidrólisis de harina y almidón de yuca.
2. Documentación bajo estándares técnicos del proceso, la instrumentación y automatización del biorreactor de 5 lts destinado al proceso de hidrólisis de harina y almidón de yuca.
3. Diseño e implementación del SCADA respectivo.

Además el desarrollo de este SCADA les permitirá a los investigadores contar con las herramientas suficientes para obtener los récipes necesarios para el proceso de hidrólisis de harina y almidón de diversas variedades de yuca para la obtención de materias primas para la producción de películas plastificantes y termoformados biodegradables. De igual manera es importante resaltar el impacto social y ambiental generado por el mismo, ya que en primera instancia se busca mejorar la productividad de yuca en el departamento del Cauca ya que en los últimos

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

quince años ha venido decayendo de forma significativa, pasando de 25.000 hectáreas sembradas en 1980 a solo 5.000 hectáreas en el 2007 [1]. Por otro lado se busca proporcionar a pequeños y medianos productores del sector yuquero, industrias transformadoras del plástico y a empresas comercializadoras de empaques del orden nacional de una serie de beneficios tales como:

- Obtener información de las bondades que los productos biodegradables aportan al medio ambiente.
- Establecer la posibilidad de generar empleos directos e indirectos.
- Disminuir la contaminación ambiental a través de la utilización de estos empaques biodegradables lo que permite a mediano y largo plazo obtener ambientes sostenibles y saludables.
- Fortalecimiento de la cadena productiva de la Yuca.

Se debe tener en cuenta que hasta el momento en Colombia no se han elaborado empaques termomoldeados biodegradables por lo que se hace necesario construir una alternativa tecnológica viable, a partir de un material económico y renovable, para originar una industria sostenible de polímeros biodegradables. Así como también es de vital importancia mantener el gran esfuerzo investigativo que se ha venido realizando, principalmente desde la academia, para aprovechar los nichos de mercado ya mencionados y la disponibilidad de recursos naturales renovables, dado que contribuyen de manera significativa a la disminución del impacto ambiental que causa el uso indiscriminado de plásticos sintéticos [1].

Cabe resaltar que el presente trabajo de grado hace parte del programa titulado **“Uso de productos y subproductos de yuca en el desarrollo de empaques biodegradables”**, que busca de forma pionera desarrollar en el país dos proyectos:

1. Producción y caracterización de películas flexibles biodegradables por extrusión de tornillo simple a partir de almidón de yuca, plastificante y PLA [1].
2. Producción y caracterización de empaques termoformados biodegradables por moldeo por compresión a partir de harina de yuca, fibra de fique y plastificante [1].

Este programa está financiado por el Ministerio de Agricultura y liderado por el Ingeniero Agroindustrial Doctor Héctor Samuel Villada docente de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca.

CAPITULO 1: HIDRÓLISIS DE HARINA/ALMIDÓN DE YUCA

1.1 Contaminación ambiental por empaques plásticos

El extraordinario desarrollo de los materiales plásticos en ámbitos tan variados como el embalaje, el transporte, los equipamientos eléctricos y electrónicos, el mobiliario, la decoración y el hogar [2], explica el crecimiento exponencial en la producción del plástico que por varias décadas se ha mantenido, logrando valores que sobrepasan las cien millones de toneladas por año [3]. Cabe resaltar que la industria de alimentos ocupa un lugar importante en el uso de plásticos, para la protección antes, durante y después de la cosecha de alimentos, ejemplo de ello son las láminas o películas para recubrimiento, bolsas y algunos productos de consumo rutinario como platos y cuchillos y cucharas entre otros.

Las fabulosas propiedades mecánicas que poseen los plásticos se convierten en una amenaza para el medio ambiente ya que su degradación es demasiado lenta. Los plásticos suelen estar formados por los polímeros: polietileno de alta densidad (PEAD), polietileno de baja densidad (PEBD), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno (PS) y polietilentereftalato (PET), donde el conjunto de las poliolefinas (PE y PP) y el poliestireno representan aproximadamente un 70% del total [4]. Estos materiales tardan unos 400 años en descomponerse y tan solo se recicla un diez por ciento [5]. Este hecho se constituye actualmente en un motivo de gran preocupación, debido a la amenaza que representan para muchos ecosistemas por ser fuentes de contaminación tanto atmosférica y visual como de suelos y medios marítimos, ver figura 1.1.



Figura 1.1 Contaminación por plásticos [6].

El método convencional para solucionar este problema, hasta ahora, ha sido el reciclaje y la degradación por altas temperaturas (incineración), que causa emisión de gases tóxicos a la atmósfera [3]. El reciclaje por combustión se tropieza con la necesidad de la recuperación de humos, en particular para los plásticos que contienen compuestos halogenados y/o azufrados, y a la reducción de emisiones de dióxido de carbono. El reciclaje para la fabricación de nuevos materiales, por su parte, se encuentra con problemas de selección y limpieza de las materias rechazadas [2]. Por otro lado veinte años atrás, se creía que los envases plásticos

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

podrían ser degradados en rellenos sanitarios y que ésta sería la solución al problema de la contaminación por ellos generada. Hoy se sabe que cualquier sustancia se degrada muy poco en estos rellenos sanitarios debido a las condiciones de luz, aire, humedad y nutrientes para mantener la acción microbiana [7].

1.2 Materias primas biodegradables

Por el alto grado de contaminación que los plásticos han ocasionado al planeta y las cada vez más escasas reservas de petróleo en el mundo, el desarrollo de los polímeros biodegradables ha tomado una gran importancia [1], teniendo en cuenta que estos últimos comparados con los polímeros convencionales tienen algunas desventajas con respecto a sus propiedades, lo que limita su utilización en algunos procesos. A pesar de sus desventajas los polímeros biodegradables o bioplásticos son ampliamente utilizados en diferentes ámbitos como son: las bolsas de plástico, los embalajes industriales, el embalaje doméstico, la medicina, los productos para la agricultura y la horticultura [2].

La estructura química de los biopolímeros es la que determina su biodegradabilidad, la cual según la norma ASTM D-5488-944 se define como la capacidad de un material de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua y componentes orgánicos, o biomasa, en el cual el mecanismo predominante es la acción enzimática de microorganismos, y puede medirse por ensayos estándares en un período específico de tiempo reflejado en condiciones disponibles de almacenamiento [8]. Los plásticos biodegradables están constituidos por un material que permite mantener completamente su integridad durante su manufactura, vida de anaquel y uso, pero que al ser desechado comienza a biodegradarse, producto de la acción de microorganismos como bacterias, hongos o levaduras [3].

El ciclo de un polímero biodegradable inicia con la obtención de almidón que se puede extraer del maíz, trigo, papa o yuca. Con el almidón y algunos componentes adicionales, mediante un proceso químico llamado hidrólisis enzimática se fabrican las materias primas que se emplean en la fabricación de películas, bolsas y artículos de uso agrícola, el hogar e incluso en aplicaciones médicas como suturas e implantes. Terminada la vida útil de cada producto, el material es degradado mediante un proceso industrial llamado compostaje, quien lo retorna al medio ambiente como abono o fertilizantes de suelos que nuevamente pueden ser utilizados en los cultivos de las plantas que producen el almidón [8].

1.3. Yuca

La yuca (*Manihot sculenta*) es una planta originaria de la América tropical. Los principales países productores son Brasil, Zaire, Nigeria e Indonesia. En algunos lugares de América del sur se denomina con este nombre a la mandioca planta del

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

género manihot que pertenece a la familia de las Euforbiáceas. Es un arbusto muy robusto, de 2 - 3 m de altura, el tallo de la planta es leñoso y quebradizo, presentando una médula central gruesa.

A continuación en la tabla 1.1 Taxonomía de la yuca se mencionan las características de clasificación de la yuca y se amplía la información que describe la planta de la cual se extrae el almidón y la harina [9].

Tabla 1.1 Taxonomía de la yuca [9].

Taxonomía de la Yuca	
División	Espermatophyta
Subdivisión	Angiospermae
Clase	Dicotiledoneae
Subclase	Archiclamydea
Orden	Geraniiales o Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Subfamilia	Crotónidae
Tribu	Manihoteae
Género	Manihot
Especie	Esculenta crantz

La yuca, uno de los productos tradicionales de la agricultura nacional, se convirtió en fuente básica del desarrollo económico y social en el norte del Cauca generando un perfil industrial que beneficia directamente a casi 28 mil e indirectamente a miles de personas más. Es así como en el norte del Cauca se encuentran 170 rallanderías con capacidad de procesamiento de 1.000- 2.500 Kg. de yuca fresca/día. De 100 Kg. de yuca fresca, se producen 20 Kg. de almidón, 6.5 Kg. de afrecho (subproducto de mediana finura constituido por fibra y porciones de raíces) y 1.5 Kg. de mancha. Estos volúmenes de producción de almidón benefician al sector agrícola al dar un valor agregado a la yuca, pero al mismo se le puede dar un mayor valor si se lo somete a un proceso de transformación nivel 2, como el de la hidrólisis enzimática para la producción de glucosa [10].

De la yuca se pueden obtener varios subproductos: Harina, Casabe, Almidón y Etanol [11].

1.3.1. Harina de yuca

La harina de yuca es uno de los productos derivados más importantes de la yuca, se obtiene del proceso de molienda y tamizado de trozos secos de yuca. Por muchos años ha sido utilizada en la alimentación animal, como parte de las raciones en concentrados para aves, rumiantes y cerdos. De la harina de yuca o tostada se fabrican, particularmente en algunas regiones del mundo, otro tipo de

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

productos comestibles conocidos como casabe mañoco y gari, así como en Brasil una gran proporción de yuca es consumida como farinha en la preparación de diversos platos típicos [12].

El proceso de obtención de la harina de yuca se ilustra en la figura 1.2. Este inicia en la etapa de pesado donde se reciben las raíces de yuca y se pesan para su control y entrada. En la segunda etapa se lavan las raíces usando agua potable aplicada a presión eliminando las impurezas y la mayor parte de la cascarilla. En la tercera etapa, se lleva a cabo el troceado, es decir se reduce el tamaño de las raíces con el fin de que se sequen fácilmente. Posterior a esta etapa se reduce la humedad por evaporación hasta alcanzar un nivel inferior al 13% en base húmeda y finalmente se reduce el tamaño de las partes de las raíces en dos partes, primero se hace un molido en el cual se reducen las partes y luego se pasan por un tamiz, donde se clasifican las partículas nuevamente [12].



Figura 1.2 Etapas de la producción de harina de yuca [12].

1.3.2. Almidón de yuca

Exactamente no se sabe desde qué época es conocido el almidón. Los griegos los llamaron Anylon quizás debido a que al contrario de lo que sucede con la harina, se obtenía no por el molino, sino por el lavado. Según rastros arqueológicos hallados en las tumbas de los reyes Egipcios, presentan muestras de pegantes a base de almidón, los cuales datan aproximadamente del año 3500A.C [13].

El almidón es un polvo blanco, amorfo, plástico, cuya densidad es 1.6 g/ml, que a veces se caracteriza por un brillo peculiar. Es insoluble en agua, alcohol y éter. Al microscopio presenta características definidas, pudiéndose identificar fácilmente. Químicamente, es un hidrato del carbono (oxígeno, nitrógeno y carbono). Su procedencia se distingue por el tamaño y la forma de los granos [9].

En virtud de su forma se pueden dividir los almidones en 5 clases:

- Almidones de gránulos en forma de óvalos grandes formando anillos concéntricos y con núcleo (hilum) colocado excéntricamente. Ejemplo: la papa.
- Almidones de gránulos ovoides usualmente formando anillos concéntricos, con núcleo irregular. Ejemplo: las leguminosas.
- Almidones de gránulos ovoides con núcleo central. Ejemplo: el trigo.
- Almidones de gránulos truncos en uno de los extremos. Grupo del sagú. Ejemplo: la yuca.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

- Almidones cuyos gránulos forman ángulos pequeños y poligonales. Ejemplo: el arroz [9].

El almidón es un alimento de reserva de los vegetales; se lo encuentra en cantidades importantes en los tubérculos y en las semillas y es la mayor fuente de hidratos de carbono en la alimentación del hombre. El almidón se halla en las células vegetales constituyendo un gránulo envuelto en una fina membrana de celulosa, por lo cual es menester triturar los gránulos (molienda) o hervirlos en agua para liberar el polisacárido. El almidón puesto en libertad es soluble en agua, y si la solución es muy concentrada, al enfriarse gelatiniza, es decir, se transforma en un gel (se amolda), por lo cual se utiliza en la preparación de pastas adhesivas (engrudo). El almidón no es una sustancia simple, sino que está constituido por dos tipos diferentes de polisacáridos: la amilosa y la amilopectina, ambas formadas por moléculas de glucosa, pero agrupadas en forma diferente. La amilosa constituye aproximadamente un 20 por ciento del almidón y está estructurada como largas cadenas de unas 200 moléculas de glucosa, unidas por los carbonos 1 y 4 en enlaces α -glucosídicos, mientras que la amilopectina tiene, en cambio, una estructura ramificada, pues existen cadenas que se unen a otras por enlaces α -glucosídicos [14].

El uso del almidón se basa en sus propiedades de interacción con el agua, especialmente en la formación de geles. Sin embargo, el almidón como tal, no da buenos resultados. Se presentan problemas de inestabilidad en alimentos ácidos o cuando estos deben congelarse y/o calentarse. Estos problemas pueden eliminarse o disminuirse en cierto grado si el almidón es modificado química o físicamente [15].

Algunas de las modificaciones químicas son: Entrecruzamiento, Sustitución, Hidrólisis y Oxidación. Estas modificaciones se hacen con la adición de químicos como sulfato de aluminio, óxido de propileno, hidróxido de sodio y otros. Todos estos procesos lo que hacen es cambiar la estructura de la amilosa y de la amilopectina y se tiene como resultado que el almidón puede formar geles resistentes, tiene mejores funciones como espesante, resiste medios ácidos, cambios de temperatura etc. [15].

1.4. Hidrólisis

Se llama así a la reacción química del agua con compuestos orgánicos o inorgánicos, que se basa en la ruptura de un enlace covalente [16] y se entiende por hidrólisis enzimática la hidrólisis que se produce mediante un grupo de enzimas llamadas hidrolasas, estas enzimas ejercen un efecto catalítico hidrolizante, es decir, producen la ruptura de enlaces por agua [17].

La hidrólisis del almidón se puede hacer por dos vías: ácida o enzimática. La hidrólisis ácida del almidón a glucosa es una técnica que tiene muchas

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

desventajas: formación de productos no deseables y flexibilidad muy pobre (el producto final sólo se puede modificar cambiando el grado de hidrólisis), por último es necesario que el equipo resista el ácido y las temperaturas requeridas durante el proceso. La hidrólisis enzimática en los últimos 30 años ha desplazado la hidrólisis ácida, debido a que se dispone de nuevas enzimas. Hoy en día la mayor parte de la hidrólisis de almidón se realiza usando enzimas, ya que esta técnica presenta ventajas como: control de la formación de productos no deseables y mayor flexibilidad del producto [10]. La función de estas enzimas es romper las moléculas de almidón, dando productos semejantes a los obtenidos por hidrólisis ácida. Las dos clases de amilasas más conocidas actualmente son las alfa –amilasas y las beta –amilasas mencionadas en la tabla 1.2.

Tabla1.2 Clases de amilasas [9].

Alfa-amilasas	Estas desdoblan el almidón en glucosa y maltosa; se caracteriza por la facilidad de fragmentación de los almidones en dextrinas reductoras, que no dan color con el yodo.
Beta amilasas	Convierten el almidón en glucosa

Las amilasas actúan lentamente sobre el almidón, por lo que debe ser sometido a un proceso de cocción para obtener una buena dispersión y rompimiento de los granos de almidón llevándose a cabo una hidrólisis rápida. La acción de las amilasas sobre el almidón depende del origen del mismo; ya que el almidón consta de una mezcla de 75 - 80% de amilopectina y el resto de amilosa [9].

1.4.1. Harina/Almidón de yuca hidrolizado

Cuando se dice que la harina/almidón es sometido al proceso de hidrólisis enzimático, la modificación que este sufre es apreciada en su estructura, pues la enzima de origen bacteriano empleada bajo las condiciones necesarias de temperatura, pH y velocidad de agitación logran que la estructura ramificada del almidón sea separada en partes más pequeñas y reorganizadas de tal forma que características como absorción de humedad, retención de agentes presentes en el ambiente, entre otros, que perjudican su desempeño como materia prima para películas plastificantes y termoformados biodegradables se atenúen o se corrijan. La diferencia que existe entre la harina y el almidón de yuca radica en que la harina, además de almidón, contiene otros componentes, por lo tanto la acción enzimática se tarda un poco más de tiempo que cuando se hace solo con almidón.

La hidrólisis implica la ruptura de un enlace mediante la adición en medio del mismo de los elementos del agua [18]. La mayoría de los pasos de la degradación del almidón a glucosa pueden ser catalizados por tres enzimas distintas, si bien hay otras más que se necesitan para completar el proceso. Las tres primeras enzimas son una α -amilasa, β -amilasa y almidón fosforilasa. Al parecer solo la β -

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

amilasa puede atacar gránulos de almidón intactos, por lo que cuando participan la α -amilasa y la almidón fosforilasa, es probable que actúen sobre los primeros productos liberados por la α -amilasa. La α -amilasa ataca de manera aleatoria enlaces 1,4 en las moléculas de amilosa y amilopectina, al principio creando huecos al azar en los granos de almidón y liberando productos que aun son grandes. En cadenas de amilosa no ramificadas, el ataque repetido por la α -amilasa produce maltosa, un disacárido que contiene dos unidades de glucosa. Sin embargo, la α -amilasa no puede atacar los enlaces 1,6 localizados en los puntos de ramificación de la amilopectina, por lo que la digestión de amilopectina cesa cuando aún quedan dextrinas ramificadas con cadenas de longitud corta. Muchas α -amilasas son activadas por Ca^+ , lo cual es una de las razones por las que el calcio es un elemento esencial [19].

La α -amilasa hidroliza al almidón en α -maltosa; la enzima actúa primero solo sobre los extremos no reductores. La α -maltosa cambia con rapidez, por mutarrotación, para formar las mezclas naturales de isómeros α y β . La hidrólisis de amilosa por la α -amilasa es casi completa, pero la degradación de amilopectina es incompleta porque no son atacados los enlaces de los puntos de ramificación. La actividad de ambas amilasas implica la incorporación de una molécula de H_2O por cada enlace roto, por lo que son enzimas hidrolasas. Las reacciones hidrolíticas no son reversibles, de modo que no se pueden detectar síntesis de almidón por amilasas. Las amilasas están diseminadas en diversos tejidos pero son más activas en las semillas que están germinando, ricas en almidón. Es probable que la α -amilasa tenga más importancia que la β -amilasa para la hidrólisis de almidón. Gran parte de la α -amilasa se localiza dentro de los cloroplastos, muchas veces unida a los granos de almidón que atacará. Actúa tanto en el día como por la noche aunque, por supuesto, durante la luz de día hay producción neta de almidón por la fotosíntesis [20]. La amilopectina solo es degradada parcialmente por la acción del almidón fosforilasa. La reacción procede de manera consecutiva a partir del extremo no reductor de cada cadena principal o cadena ramificada hasta a unos residuos de glucosa de las uniones α -1,6 de las ramificaciones, por lo que de nuevo quedan dextrinas [20].

1.5 Celda de proceso para hidrólisis

Para garantizar que la enzima alfa-amilasa pueda realizar su trabajo reduciendo la estructura molecular del almidón o de la harina de yuca, buscando sus mejores propiedades, debe proporcionarse un medio con condiciones físicas adecuadas para realizar un buen proceso de hidrólisis. Este medio es una celda de proceso instrumentada que permite controlar condiciones como: temperatura y pH de la suspensión agua–almidón/harina adecuado para la activación y desactivación de la enzima, junto con una agitación continua con el fin de asegurar una adecuada homogeneización de la suspensión con la enzima, el ácido, la base y los reactivos.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

La celda de proceso donde se lleva a cabo la hidrólisis de harina y almidón de yuca, consta de un biorreactor¹ de 5 litros, construido por la empresa Centricol Ltda. Esta fue diseñada en conjunto por los Ingenieros: Walter Velasco, de Industrias Walter Velasco, Alejandro Vargas, gerente de Centricol, y Juan Fernando Flórez, docente de la Universidad del Cauca, asesorados por los investigadores: Héctor Samuel Villada y José Luis Hoyos, miembros del proyecto Uso de Productos y Subproductos de Yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el desarrollo de empaques biodegradables, basándose en sus conocimientos, en su experiencia en el uso de equipos de este tipo y en el conocimiento del proceso.

El biorreactor de 5 litros, es un tanque enchaquetado, por donde circula agua caliente proveniente de un baño termostataado². El biorreactor se cierra a presión por medio de una tapa que contiene sensores de temperatura, ph, oxígeno disuelto, un sistema de agitación, tomas para un serpentín interno que se conecta con un baño de enfriamiento, tomas para la dosificación de ácido y base por medio de dos bombas peristálticas³, tomas para la aireación, tomas para el sistema de medición de gases y finalmente un manómetro. Los sensores y actuadores se conectan a un armario de control y este a su vez con un computador. Algunos de estos elementos se pueden observar en la figura 1.3.

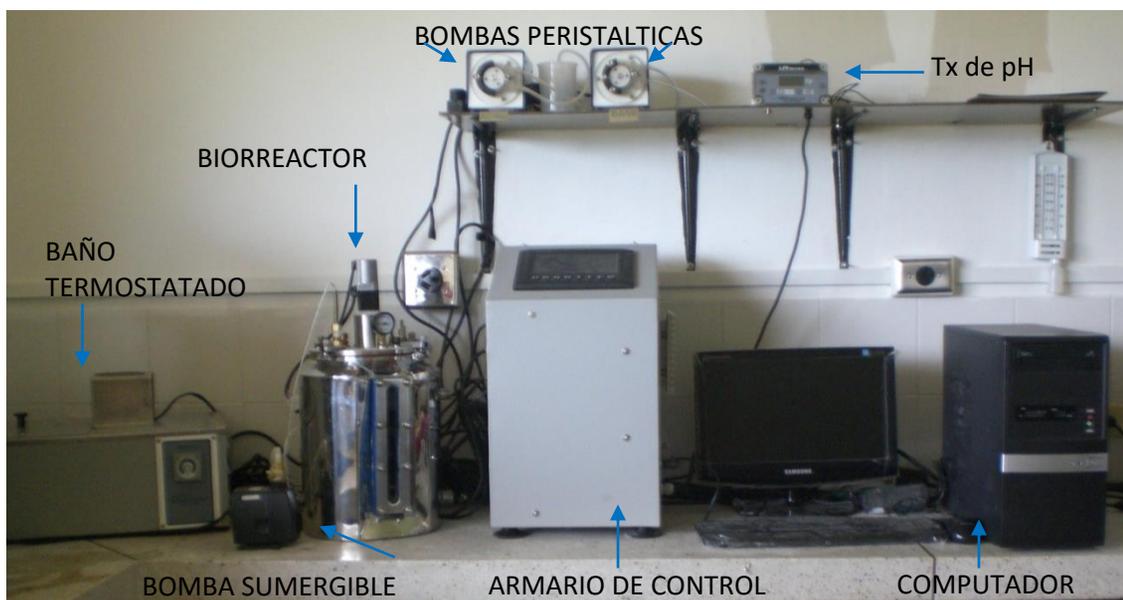


Figura 1.3 Elementos que conforman la celda de proceso de hidrólisis de harina y almidón de yuca. Fuente propia.

¹Recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo. En algunos casos, un biorreactor es un recipiente en el que se lleva a cabo un proceso químico que involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos [21].

²Recipiente que permite el calentamiento de un líquido, de preferencia agua que constantemente recircula.

³Tipo de bomba de desplazamiento positivo usada para bombear una variedad de fluidos.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

Cabe mencionar que el biorreactor fue diseñado teniendo en cuenta que pudiera ser usado en otros procesos tales como biodegradación, fermentación entre otros, por lo tanto la tapa del biorreactor cuenta con algunos instrumentos y accesorios que no son empleados dentro del proceso de hidrólisis, pero de igual manera se describen en párrafos posteriores, algunos de ellos son el aireador, las tomas de entrada y salidas para el mismo, un manómetro y varios puertos en la tapa libres que posiblemente serán usados para introducir sensores de gas y humedad.

1.5.1. Descripción de los sistemas de la celda de proceso

Los sistemas que componen la celda de proceso se listan en la tabla 1.3.

Tabla 1.3. Sistemas de la celda de proceso

Biorreactor	{	Tanque enchaquetado
		Tapa
Sistema de temperatura	{	Sistema de calentamiento
		Sistema de enfriamiento
		Sistema de agitación
		Sistema de pH
		Armario de control
		Computador

A continuación se describirán de manera breve cada uno de los sistemas de la celda de proceso de harina y almidón de yuca listados en la tabla 1.3. y los elementos que componen estos sistemas.

1.5.1.1. Tanque enchaquetado y tapa

El tanque enchaquetado y tapa conforman el biorreactor, el cual es un recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo, fue elaborado por la empresa antioqueña Centricol y es un tanque cilíndrico con capacidad de 5L, fabricado en acero inoxidable, con dimensiones específicas y diseñado para llevar a cabo procesos químicos aeróbicos o anaeróbicos que involucran organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos.

El biorreactor está compuesto por un tanque y una tapa removible, ver figura 1.4a y 1.4b. El tanque sirve de recipiente para la suspensión a hidrolizar, por lo tanto cuenta con una chaqueta que calienta la mezcla que se encuentra en su interior, además posee una entrada y una salida para el agua que transmite el calor a la mezcla y que se distribuye por la chaqueta. De la misma forma posee un desfogue para extraer la suspensión hidrolizada o la sustancia que se encuentre en su interior. Cuenta además con una mirilla que permite observar el interior del tanque sin levantar la tapa, ésta es en vidrio.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

Por otro lado, la tapa, ver figura 1.5a y 1.5b, removible también en acero inoxidable, posee 11 puertos a los cuales se adaptó un manómetro que permite medir la presión al interior del biorreactor, el sensor de pH, el sensor de temperatura, una manguera flexible que permite el ingreso de ácido proveniente de la bomba peristáltica dosificadora de ácido, una manguera flexible que permite el ingreso de base proveniente de la bomba peristáltica dosificadora de base, un servomotor que permite la agitación de la mezcla de la suspensión, una manguera flexible que permite el ingreso de agua refrigerante hacia el serpentín, una manguera flexible que permite la salida de agua refrigerante del serpentín, y dos puertos que permiten el ingreso de entrada y salida del gas que circula por el aireador.

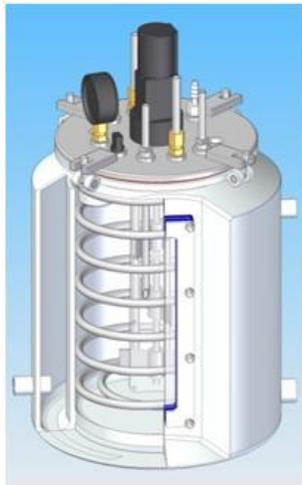


Figura 1.4a Vista interna biorreactor 5L.
Fuente propia.

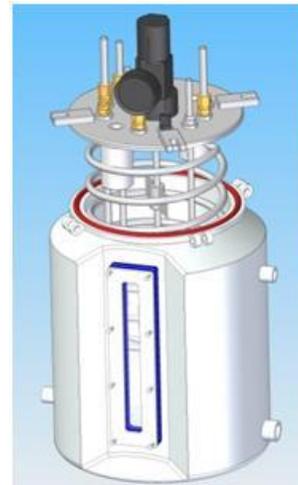


Figura 1.4b Vista externa biorreactor 5L. Fuente propia.



Figura 1.5a Vista frontal tapa biorreactor 5L. Fuente propia.

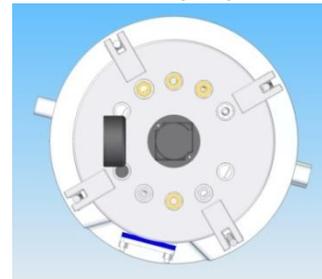


Figura 1.5b Vista superior tapa biorreactor 5L. Fuente propia.

1.5.1.2. Sistema de Temperatura

El sistema de temperatura está compuesto a su vez por dos subsistemas: Sistema de calentamiento y Sistema de enfriamiento. Estos dos sistemas son los encargados de realizar el control de la temperatura.

1.5.1.3. Sistema de calentamiento

El sistema de calentamiento tiene como objetivo controlar la temperatura de la suspensión que se encuentra dentro del biorreactor, para ello cuenta con un baño termostático que recircula agua caliente en la chaqueta, un sensor de temperatura Pt-100 para realizar la medición de la temperatura de la mezcla que se encuentra en el biorreactor y un algoritmo de regulación en el armario de control.

Baño termostático

El baño termostático marca Centricol tiene una capacidad de 13 L, ver figura 1.6.a y 1.6b. Este debe ser llenado con agua a temperatura ambiente. El agua en el baño termostático es calentada por una resistencia eléctrica e impulsada a través de un conducto hacia la chaqueta del tanque por medio de una bomba de recirculación. El agua que sale de la chaqueta entra nuevamente al baño mediante un conducto siliconado para ser recirculada.

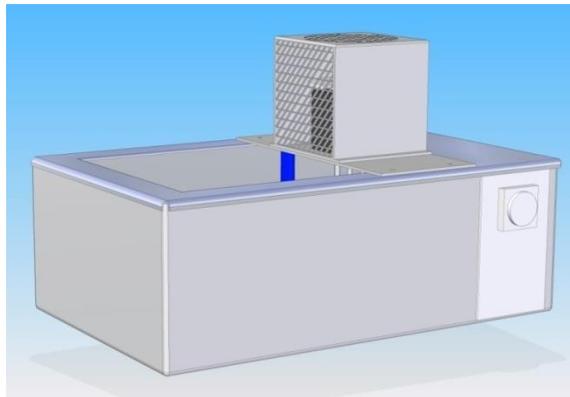


Figura 1.6a Vista frontal baño termostático. Fuente propia.

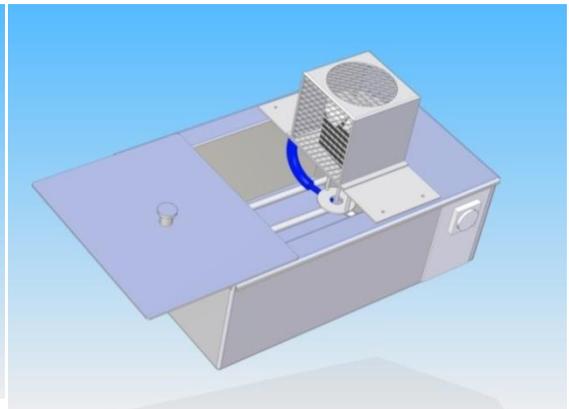


Figura 1.6b Vista superior baño termostático. Fuente propia.

Sensor de Temperatura

La medición de temperatura es realizada mediante un sensor PT-100, acoplado a la tapa del biorreactor, ver figura 1.7a, 1.7b y 1.7c. La lectura del sensor está ajustada según la temperatura proporcionada por un termómetro de mercurio para patronamiento VWR Brand.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

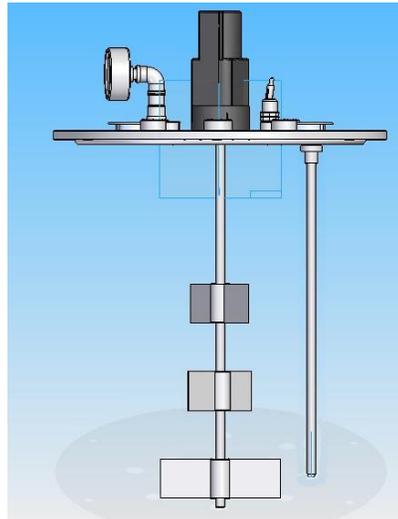


Figura 1.7 a Pozuelo con Pt -100 unido a tapa biorreactor. Fuente propia.



Figura 1.7 b pozuolo con Pt -100. Fuente propia.

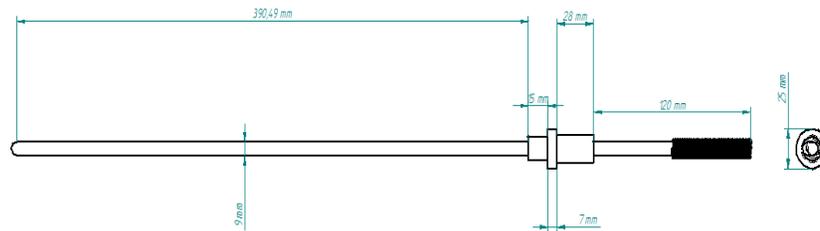


Figura 1.7c Pt -100. Vista lateral pozuoloPt-100. Fuente propia.

1.5.1.4. Sistema de enfriamiento

El sistema de enfriamiento tiene como objetivo controlar la temperatura de la mezcla que se encuentra al interior del biorreactor, por tal razón utiliza un serpentín, un baño de enfriamiento, un sensor Pt100 y un algoritmo de regulación en el armario de control. El baño de enfriamiento es un recipiente en icopor con capacidad de 46 Lts, el cual se llena con 30 lts de agua, 4 pilas frías y una bomba sumergible. De este modo el agua refrigerante que se encuentra a una temperatura menor que la ambiental es recirculada a través del serpentín regulando así la temperatura de la suspensión.

Serpentín

El serpentín, ver figura 1.8, es un tubo cilíndrico en forma de espiral, por donde circula agua fría impulsada por una bomba sumergible, que facilita el enfriamiento de la mezcla que lo rodea, recibiendo y retirando calor por medio del agua en recirculación del baño de enfriamiento. Está hecho en acero inoxidable para evitar el deterioro y la contaminación de la suspensión debido a la acción del ácido y la base que se dosifica constantemente al interior del biorreactor.

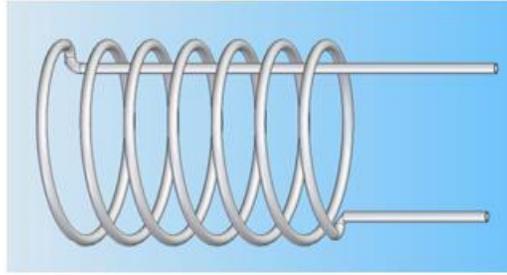


Figura 1.8 Serpentín. Fuente propia.

Bomba de refrigeración

La bomba de refrigeración es sumergible marca Geoglobal Partners FP 500, ver figura 1.9a y 1.9b, es térmicamente protegida. Esta se introduce en un recipiente con aproximadamente 30 lts de agua a una temperatura de 18-20 °C. La bomba impulsa agua fría hacia el serpentín de acero inoxidable mediante un conducto conectado a la tapa del biorreactor. El agua que sale del serpentín es conducida nuevamente hacia el recipiente con agua fría para ser recirculada. La bomba se activa automáticamente cuando la temperatura de la sustancia de trabajo supera la temperatura programada y detiene el proceso de circulación una vez la temperatura emitida por el sensor es igual a la temperatura de trabajo programada. Para el enfriamiento de la sustancia dentro del tanque, se debe programar la temperatura a la que se desea llegar y la bomba se activará automáticamente.

1.5.1.5. Sistema de agitación

El sistema de agitación está compuesto por un servomotor, las aspas y un aireador. Estos elementos tienen como propósito mezclar la suspensión que se encuentra dentro del tanque del biorreactor con el fin de que esta sea homogénea y los reactivos que se adicionen se distribuyan uniformemente.

Aireador

Aunque este elemento no es usado en el proceso de hidrólisis, pues su uso es destinado a otros procesos, forma parte de los equipos que se encuentran adheridos a la tapa del biorreactor, por ello se presenta a continuación la descripción correspondiente. Este elemento está hecho en acero inoxidable, ver figura 1.10, posee agujeros orientados hacia abajo con el fin de expulsar el aire que circula por su interior con el fin de airear y mejorar la homogeneidad de la mezcla.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

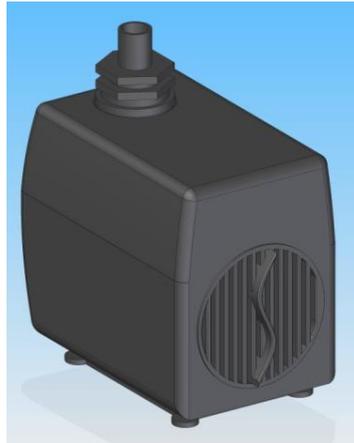


Figura 1.9a Bomba de refrigeración Geoglobal Partners FP 500. Fuente propia.

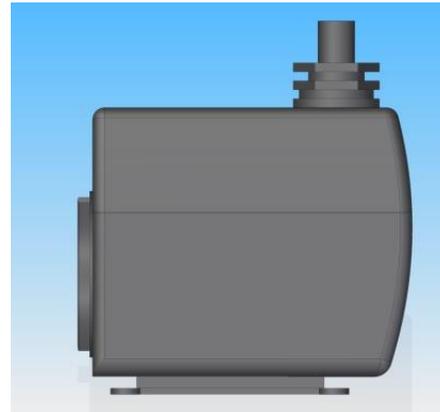


Figura 1.9b Vista lateral Bomba de refrigeración. Fuente propia.



Figura 1.10 Vista frontal Aireador. Fuente propia.

Servomotor

El servomotor Delta Electronics, ver figura 1.11, es el elemento que posee la potencia necesaria para permitir una adecuada homogeneidad del material que se está procesando. En cuanto a las aspas, ver figura 1.12, son 3 agitadores de 2 palas conectadas al eje transmisor de potencia del servomotor, distribuidas de manera vertical. Pueden tener una distribución de flujo axial o radial. La velocidad de agitación depende de los parámetros configurados.

1.5.1.6. Sistema de dosificación

El sistema de dosificación cuenta con un sensor de pH, un transmisor indicador de pH, dos bombas peristálticas y un algoritmo de regulación en el armario de control, que permiten realizar el control de pH de la suspensión que se halla dentro del biorreactor.

Sensor y Transmisor de pH

La medición de pH es realizada mediante un electrodo, ver figura 1.13, y llevada hasta el transmisor INTECH INSTRUMENTS LPI-pH, ver figura 1.14, el cual trasmite al armario de control el grado de acidez del material de trabajo.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

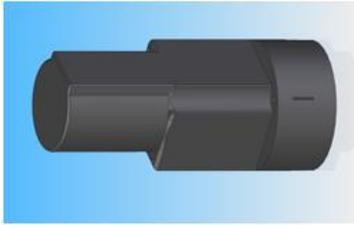


Figura 1.11 Servomotor Delta Electronics. Fuente propia.

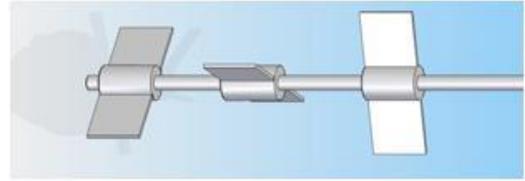


Figura 1.12 Aspas del agitador. Fuente propia.



Figura 1.13 Vista superior del sensor de pH. Fuente propia

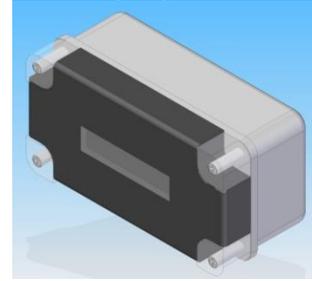


Figura 1.14 Vista del transmisor de pH. Fuente propia

Bombas peristálticas

La planta cuenta con dos bombas peristálticas, ver figura 1.15, marca Centricol, una destinada a la dosificación de ácido y otra reservada para la base. Cada una cuenta con una manguera flexible siliconada resistente al álcali y un recipiente que almacena el ácido y otro que almacena la base que se estima se empleará durante el proceso de hidrólisis de harina y almidón de yuca. A través de la manguera flexible circula la solución básica o ácida desde un extremo de ésta que se encuentra sumergido en la solución y el otro extremo se conecta a la tapa del biorreactor.

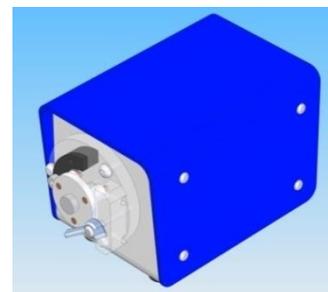
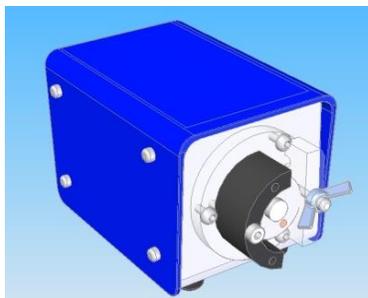


Figura 1.15 Vista lateral de las Bombas peristálticas Fuente propia.

1.5.1.7. Manómetro

El manómetro, ver figura 1.16, es el encargado de medir la presión al interior del tanque del biorreactor. Este se encuentra acoplado a un puerto de la tapa,

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

midiendo la presión al interior. En el proceso de hidrólisis la presión en el biorreactor es la presión atmosférica por lo que marcará cero.



Figura 1.16. Vista frontal manómetro. Fuente propia.

1.5.1.8. Armario o Unidad de control

El armario, ver figura 1.17a y 1.17b, es un gabinete diseñado, elaborado y cableado por Centricol. Este contiene un PLC siemens S7-200, una pantalla táctil Delta, el manejador del servomotor y todo el cableado requerido para el control del biorreactor y sus equipos anexos. Posee además en uno de los laterales, todos los puertos que permiten la comunicación de los demás instrumentos con los elementos que se encuentran al interior de éste.



Figura 1.17a Vista lateral izquierdo Armario. Fuente propia.



Figura 1.17b Vista lateral derecho Armario. Fuente propia.

1.5.1.9. Pantalla táctil

La pantalla táctil, ver figura 1.18, marca Delta es un elemento que mediante un toque directo sobre su superficie permite la entrada de datos y órdenes al dispositivo. A su vez, actúa como periférico de salida, mostrando los resultados introducidos previamente. Esta permite introducir los parámetros de configuración para llevar a cabo el control de proceso de hidrólisis de harina y almidón de yuca, así mismo permite visualizar las variables relevantes del proceso.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

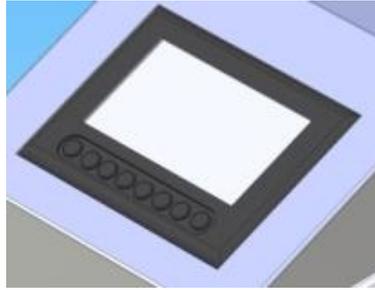


Figura 1.18 Vista superior Pantalla táctil marca Delta. Fuente propia.

1.5.1.9. Computador

El equipo que se aprecia en la figura 1.19, es un computador de mesa que a través del puerto serial y de un cable conversor PC/PPI se comunica con el PLC Siemens que se encuentra dentro del armario, de esta manera las ordenes de control son digitadas en el HMI que se ejecuta en este computador llevando a cabo el monitoreo y supervisión del proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca.



Figura 1.19 Computador y HMI Centricol. Fuente propia.

A modo de resumen se presenta la tabla 1.4 que contiene los elementos que forman la celda de proceso para hidrólisis de harina y almidón de yuca.

Tabla 1.4 Listado de equipos, instrumentos y accesorios.

EQUIPOS	INSTRUMENTOS
Tanque Biorreactor	Manómetro
Tapa Biorreactor	Serpentín
Bomba Peristáltica ácido	Aireador
Bomba Peristáltica base	Sensor de pH
Bomba de refrigeración	Transmisor indicador de pH
PC	Sensor de temperatura
Armario de control	Servo
Pantalla táctil	Transmisor Pt-100
PLC	

BIBLIOGRAFÍA CAPITULO 1

- [1] VILLADA, Héctor Samuel. “Programa: Uso de productos y subproductos de yuca (Manihot esculenta Crantz) en el desarrollo de empaques biodegradables”, 2007, Colombia, Ministerio de Agricultura, código proyecto 2008z3816, sección termoformados.
- [2] TIPHAINE, Richard. “Preparación y caracterización de nanocompuestos en base PLA”. España, Universidad Politécnica de Cataluña, 2008.
- [3] THARANTAHAN, R, N. “Biodegradable films and composite coatings: past, present and future”. In: Critical reviews in Food Science and Technology. Vol. 14 (2003); p. 71-78.
- [4] SOTELO J.L., Aguado J., Serrano D.P, Van Grieten.R; “Reciclado químico de plásticos y aceites lubricantes usados mediante catalizadores zeolíticos”. España. Universidad de Madrid. Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Químicas.
- [5] ROMERO Antonio, “Bolsas de Plástico, otro punto de vista”, año 2009; <http://www.comparativadebancos.com/contaminacion-bolsas-de-plastico-falsos-mitos/>, última consulta 16-05-10.
- [6]INTECECOLOGICO, “Prohibición bolsas de plástico en China”, <http://intececológico.com/2008/08/01/prohibicion-bolsas-de-plastico-en-china/>, última visita 13-05-10.
- [7] HALLEY, P.J. “Thermoplastic starch biodegradable polymers”. The University of Queensland, Australia. En: Smith, R. Biodegradable polymers for industrial applications. First published. 6, 141 - 162. (2005).
- [8] RUIZ A, Gladys. “Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca”. Colombia, Universidad EAFIT, 2006.
- [9] AGRONET, “Producción de etanol”, [fhttp://201.234.78.28:8080/dspace/bitstream/123456789/712/1/2006718143257_Yuca%20en%20produccion%20de%20etanol.pdf](http://201.234.78.28:8080/dspace/bitstream/123456789/712/1/2006718143257_Yuca%20en%20produccion%20de%20etanol.pdf) última visita 26-06-10.
- [10] MERA, Ingrid, “Obtención de glucosa a partir de almidón de yuca manihot esculenta” año 2005, <http://www.unicauca.edu.co/biotecnologia/ediciones/vol3/Art38.pdf> última visita 25-06-10.
- [11] PROMOTORA DE CAPITALES PRODECAS C.A., “Estudio de mercados de la yuca y sus derivados en Venezuela”, <http://www.scribd.com/doc/6992068/Teoricas-Ind2-Yuca>, última visita 25-06-10.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

[12] HENAO Sergio, “Estudio tecnológico de la utilización de la harina de yuca en panificación”, <http://www.clayuca.org/PDF/panificacion.pdf>, última visita 30-06-10.

[13] AGRONET, “Producción de etanol”, http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/2006718143257_Yuca%20en%20pruccion%20de%20etanol.pdf, última visita 26-06-10.

[14] KINESIOLOGÍA, “Química general y orgánica” <http://kinesiologia2010.bligoo.cl/media/users/7/388894/files/26197/sesion-26.pdf>, última visita 25-06-10.

[15] MURILLO, Olga, “Ficha técnica de la industrialización de la yuca”, http://www.cnp.go.cr/php_mysql/admin/KTML/uploads/files/boletines/yuca_FTP.pdf, última visita 1-07-10.

[16] PRACTICIENCIA, “Hidrólisis”, <http://www.practiciencia.com.ar/cbiologicas/biologia/bioquimica/hidrolisis/>, última visita 21-06-10.

[17] LÓPEZ C. “Enzimología. Ed. Científico-Médica”, http://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%B3lisis_Enzim%C3%A1tica, última visita 23-06-10.

[18] VANGUARDIA, “Hidrólisis”, <http://vanguardia.udea.edu.co/publico/mljpg495/marco%20hidrolisis.doc>, última visita 25-06-10.

[19] BIOAPUNTES, “Fermentación”, <http://www.bioapuntes.cl/apuntes/fermentacion.htm>, última visita, 27-06-10.

[20] ARROYO S, Veronica “hidrólisis enzimática de un polisacárido vegetal (almidón)”. Universidad autónoma metropolitana.

[21] WIKIPEDIA, “Biorreactores”, <http://es.wikipedia.org/wiki/Biorreactor>, última visita 25-06-10.

CAPITULO 2: MODELAMIENTO ISA 88 PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA/ALMIDÓN DE YUCA

Tras una primera aproximación a los sistemas y subsistemas que componen la celda de proceso de hidrólisis de harina y almidón de yuca, se realizará una descripción del proceso, atendiendo las recomendaciones de la norma ISA88 parte I. Teniendo en cuenta, que el proceso de hidrólisis de harina y almidón de yuca es un proceso que se desarrolla por tandas, se hidrolizan lotes de 7 variedades de yuca, es decir que se lleva a producción cantidades finitas de material, sometiendo cantidades de material de entrada a un conjunto ordenado de actividades de procesamiento, en un período finito de tiempo, usando uno o más porciones de equipos [1].

En la industria se hace uso de la norma ISA 88 pues provee una terminología estándar y un conjunto consistente de conceptos y modelos para plantas de manufactura por tandas y control de tandas que mejora la comunicación entre todas las partes involucradas [1], todo ello sin establecer un grado de automatización específico.

Asumiendo estos dos aspectos, el primero: que el proceso de hidrólisis se lleva a cabo por tandas y el segundo: que la norma ISA 88 parte I ofrece las herramientas para modelar este tipo de producción, se propone en este trabajo de grado los modelos de proceso, físico y procedimental, utilizando la norma ISA 88 parte I, con el fin de que la información recopilada acerca del proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca se presente, se almacene y se organice bajo un estándar que permita futuros trabajos (escalamiento industrial) y haga más sencilla la clasificación, el estudio y el análisis de datos del actual macro proyecto de investigación.

2.1. Modelo de proceso de la hidrólisis de harina/almidón de yuca

De acuerdo a la norma ISA 88 parte I, el modelo de proceso se utiliza para describir el proceso productivo de una empresa en términos de: proceso, etapas de proceso, operaciones de proceso, y acciones de proceso siguiendo la jerarquía que se puede apreciar en la figura 2.1.

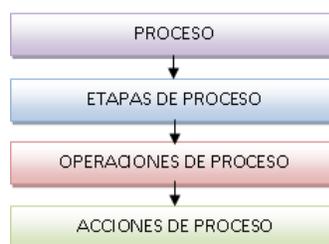


Figura 2.1. Modelo de proceso según ISA 88 parte I [3].

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

Una vez asumida la jerarquía establecida por la ISA 88 se procede a describir el modelo de proceso, ver las figuras 2.2, 2.3, y 2.4, que caracterizan el proceso de hidrólisis de harina y almidón de yuca, en el laboratorio de biotecnología ubicado en la Universidad del Cauca.

Las figuras 2.2, 2.3, y 2.4 se rigen a partir de las convenciones establecidas en la Tabla 2.1 para facilitar su asociación durante la documentación.

Tabla 2.1 Convenciones para el modelo de proceso.

COMPONENTE	COLOR
PROCESO	
ETAPAS	
OPERACIONES	
ACCIONES	

La descripción por etapas que se desarrolla en la siguiente sección se realiza a partir de la observación detallada de los procedimientos realizados por los jóvenes investigadores que trabajan con el biorreactor realizando hidrólisis.

2.1.1. Descripción por etapas del proceso de hidrólisis de harina/almidón

La primera división que sufre el proceso es llevada a cabo para establecer las etapas. Recordando que las etapas son una parte del proceso que normalmente opera independientemente de otras etapas de proceso y que usualmente resulta en una sucesión planeada de cambios químicos o físicos en el material que se está procesando [1].

En la figura 2.2 se mencionan las 4 etapas en las cuales fue dividido el proceso de hidrólisis de harina y almidón de yuca. Como primera etapa se definió “Limpiar biorreactor”, en ella se hace la limpieza de la tapa y los elementos que se encuentran unidos a ella, así como del tanque del biorreactor. Es de vital importancia realizar una adecuada limpieza pues de no hacerlo pueden quedar rastros de sustancias que pueden contaminar la mezcla, haciendo que la acción de la enzima no sea la esperada y por lo tanto que el grado de modificación no sea el óptimo. La segunda etapa que se contempla en este proceso se denominó “Preparar y Probar equipos”. En esta etapa se llevan a cabo los ajustes necesarios para poner en funcionamiento los equipos que forman parte de la celda de proceso de hidrólisis de harina y almidón de yuca y así mismo se realizan las pruebas de estos con el fin de determinar el correcto funcionamiento de los mismos y se preparan los reactivos necesarios. El mal funcionamiento de cualquiera de los elementos o la ausencia de alguno de los equipos, instrumentos o reactivos interrumpe el correcto desarrollo del proceso. La tercera etapa fue llamada “Preparar la suspensión” debido a que en ella se hace la mezcla de harina/almidón con agua destilada que posteriormente sufrirá el proceso de

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

hidrólisis. Finalmente se estableció la etapa “Hidrolizar”, pues como su nombre lo dice, es durante esta etapa que la suspensión sufre la modificación molecular debido a la acción enzimática.

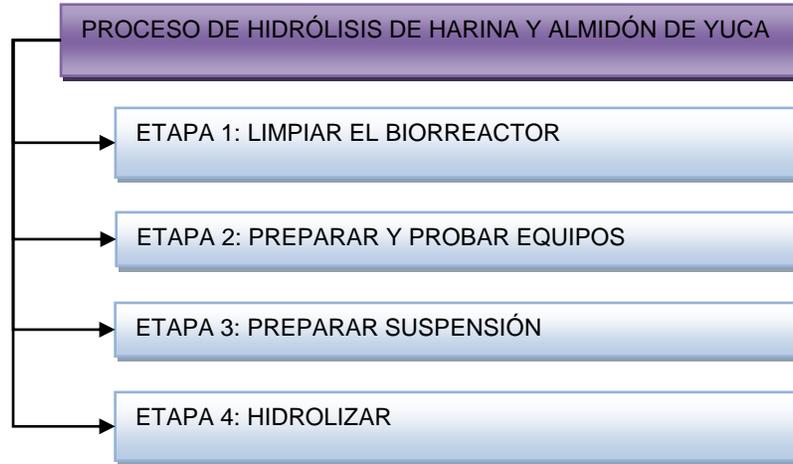


Figura 2. 2 Descripción por etapas del proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca. Fuente propia.

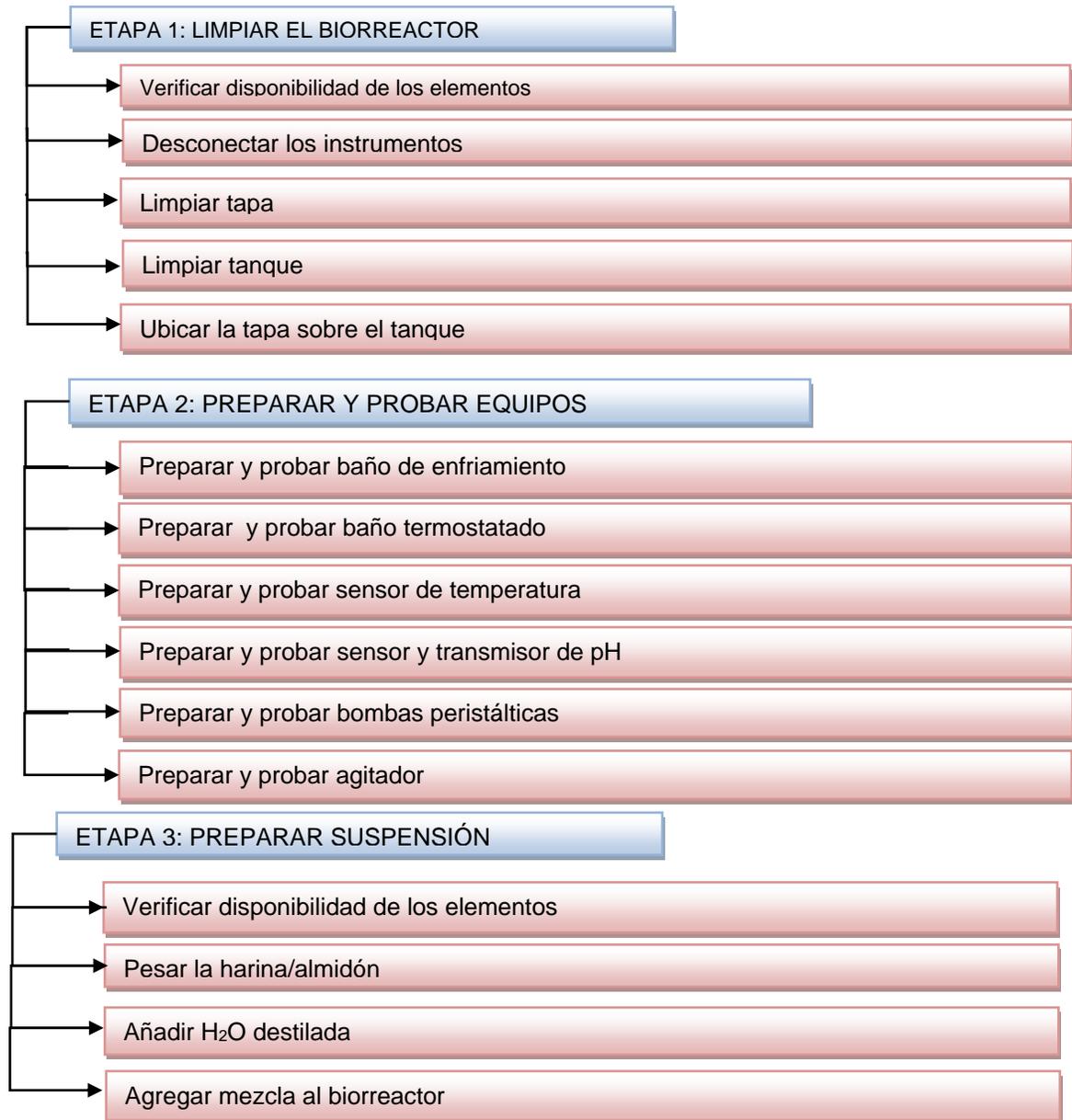
La definición de cambio físico o químico exigida por la norma ISA88 para establecer una secuencia de operaciones como una etapa, no se aplica estrictamente en este proyecto de pregrado, como normalmente se observa en el medio industrial. Sin embargo el no hacer uso de estas “etapas” propuestas por el presente trabajo de grado en el modelamiento del proceso, implicaría obtener respuestas no óptimas, todo ello debido a una mala limpieza y deficiente preparación de los equipos, haciendo que la acción de la enzima no sea la esperada y por lo tanto que el grado de modificación molecular de la harina/almidón no sea el óptimo.

2.1.2. Descripción de cada etapa por operaciones

Una vez determinadas las etapas del proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca, se definieron las operaciones de cada etapa, figura 2.3, teniendo en cuenta que el desarrollo de cada una de estas permite avanzar en el proceso y son las estrictamente necesarias, así que para poder superar la primera etapa “Limpiar el biorreactor” se deben desarrollar las siguientes operaciones: verificar disponibilidad de los elementos, desconectar los instrumentos, limpiar tapa, limpiar tanque y ubicar la tapa sobre el tanque, de este modo se pueden realizar las siguientes operaciones que hacen parte de la segunda etapa “Preparar y probar equipos”: preparar y probar sistema de enfriamiento, preparar y probar baño termostático, preparar y probar sensor de temperatura, preparar y probar sensor y transmisor de pH, preparar y probar bombas peristálticas y preparar y probar agitador. Ahora las operaciones que se deben realizar son las correspondientes a

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

la tercera etapa “Preparar suspensión” y estas son: verificar disponibilidad de los elementos, pesar la harina/almidón, añadir H₂O destilada y agregar la mezcla al biorreactor. Finalmente, suministrar los datos requeridos, configurar parámetros, iniciar hidrólisis y obtener porcentaje de dextrosa, son las operaciones que hacen parte de la última etapa, “hidrolizar”.



SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

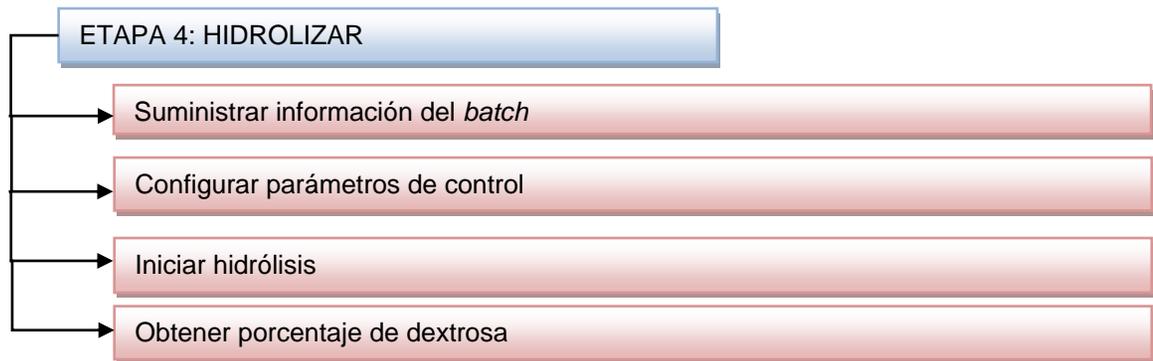


Figura 2. 3 Descripción de cada etapa del proceso de hidrólisis de harina / almidón de yuca. Fuente propia.

2.1.3. Descripción de cada etapa por operaciones y acciones

Siguiendo la jerarquía que establece ISA 88 figura 2.1, las etapas han sido subdivididas en operaciones, considerando que cada etapa de proceso consiste en un conjunto ordenado de una o más operaciones de proceso y las operaciones de proceso representan actividades mayores de procesamiento y una operación de proceso usualmente da por resultado un cambio químico o físico en el material que está siendo procesado [1]. Este paso se describe en la figura 2.3.

La primera etapa **Limpiar biorreactor**, consta de 5 operaciones: verificar disponibilidad de los elementos, desconectar instrumentos, limpiar tapa, limpiar tanque y ubicar la tapa sobre el tanque.

Para desarrollar la operación verificar disponibilidad de los elementos se debe disponer de los materiales que se requieren para llevar a cabo la limpieza del tanque y de la tapa del biorreactor, estos son: suministro de agua, jabón, esponja y caja de herramientas.

Una vez los elementos de la primera operación están listos, se desconectan los instrumentos y accesorios que están sujetos a la tapa con el fin de evitar que se mojen y se puedan dañar, teniendo en cuenta que para desacoplar el sensor de pH se hace necesario aflojar con la herramienta adecuada el rache que lo mantiene fijo.

Una vez la segunda operación esta lista, se da inicio a la limpieza de la tapa ubicándola en un lugar seguro cerca a la zona de lavado, se pasa la esponja con jabón en polvo sobre toda la superficie de la tapa y sobre todos los elementos que están unidos a ella, como el eje y las aspas del agitador, las extensiones del sensor de pH y el serpentín, cerciorándose de que todas las superficies queden completamente cubiertas, pues es necesario eliminar los rastros de ácido, base y suspensión. Por último se limpia con suficiente agua todas las superficies que

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

estén cubiertas de jabón sin mojar el servomotor y se coloca la tapa en un sitio que permita que se elimine el exceso de agua y evite que se ruede.

La operación final de la primera etapa es la limpieza del tanque, para ello se debe observar que la válvula de desfogue, que se encuentra en la parte inferior del tanque, se encuentre cerrada, así se evita que se derrame el agua y el jabón que se encuentre en el interior del tanque durante el lavado. Cuando la válvula está cerrada se agrega agua sobre las paredes del tanque, acto seguido se pasa la esponja con jabón sobre las mismas con el fin de eliminar los residuos de ácido, base y suspensión que se puedan encontrar. Posteriormente se limpia con suficiente agua las superficies con jabón y se procede a dar apertura a la válvula de desfogue fijándose que el líquido que sale caiga en la zona de lavado o en un recipiente.

La siguiente etapa es **Preparar y probar equipos**, en ella se adecuan y prueban todos los equipos, elementos, instrumentos y reactivos de tal forma que queden listos para ser utilizados durante la hidrolización. Ésta está constituida por 6 operaciones: Preparar y probar baño de enfriamiento, preparar y probar baño termostatado, preparar y probar sensor de temperatura, preparar y probar sensor y transmisor de pH, preparar y probar bombas peristálticas, preparar y probar agitador.

En la primera operación Preparar y probar baño de enfriamiento se hace necesario verificar que el tanque de refrigeración este limpio y libre de residuos sólidos, pues de este modo se asegura que la bomba de refrigeración no sufra cualquier tipo de obstrucción, luego se introduce la bomba de refrigeración dentro del tanque y verifica que un extremo de la manguera siliconada esté conectado a la bomba de refrigeración y el otro extremo, de la misma, a un puerto de la tapa del biorreactor, así mismo que un extremo de la otra manguera siliconada, para recirculación, atraviese la tapa del tanque de refrigeración y el otro extremo este conectada a un puerto de la tapa del biorreactor. Esto garantiza que la bomba suministre y recircule agua por los puertos destinados para este fin. Listas las conexiones se llena el tanque de refrigeración utilizando una manguera, hasta el nivel indicado en el tanque y luego extraen las pilas del congelador de la nevera y depositan dentro del tanque de refrigeración, finalmente se asegura que la tapa del tanque de refrigeración quede bien ubicada para que se mantenga fría el agua, acto seguido se mide la temperatura en el tanque de refrigeración, finalmente se activa la bomba de recirculación para probarla.

Para Preparar y probar el baño termostatado se retira la tapa del mismo y verifica que el agua no presente residuos sólidos ni este sucia, luego se observa el nivel del agua dentro de este, de no estar en el deseado se debe corregir, luego se conecta un extremo de la manguera siliconada a un puerto del baño termostatado y el otro extremo al puerto superior de la chaqueta del biorreactor y se conecta un extremo de otra manguera siliconada a un puerto del baño termostatado y el otro

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

extremo al puerto inferior de la chaqueta del biorreactor, luego se fija la potencia de la perilla, se conecta el baño termostatado a la red eléctrica y se enciende.

Para superar la tercera operación, Preparar y probar sensor de temperatura, se verifica que cuenta con el termómetro de mercurio, por otra parte se introduce el sensor de temperatura, en un puerto de la tapa del biorreactor, se verifica que la punta del sensor quede cerca de la base interna del biorreactor, se conecta el cable del sensor de temperatura al conector correspondiente del armario de control y finalmente se chequea que el valor de la temperatura instantánea es similar a la temperatura observada en el termómetro.

Las acciones correspondientes a la operación Preparar y probar sensor y transmisor de pH son las siguientes, verificar que los siguientes elementos estén a disposición: *buffers* 7 y 4, agua destilada, papel absorbente de cocina, soportes para *buffers* 7 y 4, caja de herramienta, después de saber que estos están listos para ser usados, se conectan los terminales del sensor de pH al transmisor de pH, se conectan los terminales del transmisor de pH al armario de control, se retiran los tornillos frontales del transmisor, con desatornillador de estrella, y se retira la tapa del transmisor de pH, se sacan los *buffers* 7 y 4 de la nevera, y se ubican en los soportes correspondientes, se lava con agua destilada el electrodo del sensor de pH y se seca con papel absorbente de cocina, se introduce el sensor de pH en el *buffer* 7, se observa el valor indicado en el transmisor de pH y se ajusta el tornillo de *OFFSET* hasta que el valor de pH este cercano a 7, se lava con agua destilada el electrodo del sensor de pH y seca con papel absorbente de cocina, se introduce el sensor de pH en el *buffer* 4, se observa el valor indicado en el transmisor de pH y se ajusta el tornillo de *SLOPE* hasta que el valor de pH este cercano a 4, se lava con agua destilada el electrodo del sensor de pH y seca con papel absorbente de cocina, repetir los pasos anteriores hasta que el transmisor de pH indique 7 y 4, respectivamente. Finalmente se desconecta el cable del sensor de pH del transmisor de pH, se introduce el cable del sensor de pH por la parte de abajo del puerto correspondiente y se pasa por completo, luego se conecta al transmisor de pH, se ubica el sensor de pH en el puerto asignado, se coloca la tapa del biorreactor en la posición indicada en el biorreactor y se ajustan los pernos, y se guardan los elementos utilizados en su respectivo puesto.

Para Preparar y probar las bombas peristálticas, las acciones son las siguientes: verificar que se dispone de los siguientes elementos: bombas peristálticas para ácido y base con sus respectivas mangueras, agua destilada, varios recipientes, solución de ácido (HCl 8%) y base (NaOH 2N). Para la preparación de ácido clorhídrico e hidróxido ver anexo B.

Si se dispone de la cantidad de ácido y base requeridos y demás elementos, se llena un recipiente con agua destilada y se coloca un extremo de las mangueras de las bombas peristálticas dentro de un recipiente, igualmente se coloca el otro extremo de las mangueras de las bombas peristálticas en un recipiente, después

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

se activan las bombas peristálticas para dejar circular el agua destilada, hasta que esta pase de un recipiente a otro, y se desactivan y desecha el agua destilada del recipiente que la contenía y se guardan los recipientes.

Después de la limpieza con agua destilada se realiza la purga con los reactivos correspondientes hasta que las mangueras queden totalmente llenas y no presente burbujas de aire que impidan la correcta dosificación. Esto se realiza para ácido y base. Para el ácido se coloca un extremo de la manguera de la bomba peristáltica para ácido en un recipiente y el otro extremo en otro recipiente, se activa la bomba para ácido y se deja circular el ácido a través de la manguera hasta que caiga por primera vez el ácido al recipiente asignado para tal tarea, se desactiva la bomba y se desecha el contenido del recipiente que contiene el ácido que se uso en la purga, se coloca el extremo libre de la manguera de la bomba peristáltica de ácido a un puerto de la tapa del biorreactor. ahora se debe purgar la bomba dosificadora de base. Para la base se coloca un extremo de la manguera de la bomba peristáltica para base en un recipiente y el otro extremo en otro recipiente, se activa la bomba para base y se deja circular la base a través de la manguera de esta bomba hasta que la base caiga por primera vez al recipiente asignado, se desactiva la bomba y desecha el contenido del recipiente que contiene la base de purga, y se termina colocando el extremo libre de la manguera al puerto de la tapa del biorreactor correspondiente.

Las acciones que hacen parte de la sexta y última operación Preparar y probar agitador de la segunda etapa son: verificar que la tapa del biorreactor esté bien puesta sobre el tanque del biorreactor, acoplar el cable del servomotor con su respectivo conector, conectar el cable del *encoder* al cable correspondiente, activar el agitador y observar a través de la mirilla de la chaqueta del biorreactor que el agitador este girando y desactivar el agitador para finalizar la prueba.

Continuando con la secuencia establecida en la figura 2.3, la tercera etapa "**Preparar suspensión**" consta de 4 operaciones: verificar disponibilidad de los elementos, pesar la harina/almidón, añadir H₂O destilada y agregar mezcla al biorreactor.

Para la primera operación Verificar disponibilidad de los elementos se realizan las siguientes acciones: verificar harina o almidón en base seca, verificar agua destilada y finalmente chequear que se disponga de un embudo.

Para la segunda operación Pesar harina/almidón se requiere: harina o almidón de yuca en base seca y agua destilada, así que en primer lugar se determina la cantidad de suspensión que se desea preparar (W_{susp}), este valor se multiplica por 0.2, pues la suspensión se prepara al 20% en base seca, de este modo se obtiene el peso de la harina o el almidón en base seca ($W_{(\text{h/a})\text{base seca}}$) que se utiliza. Para determinar cuánta agua destilada se emplea la siguiente ecuación:

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

$$W_{\text{susp}} = W_{(\text{h/a})\text{base seca}} + W_{\text{H}_2\text{Od}}$$

Como ya se han determinado los valores: W_{susp} y $W_{(\text{h/a})\text{base seca}}$ se despeja y se obtiene el peso del agua destilada $W_{\text{H}_2\text{Od}}$, como:

$$W_{\text{H}_2\text{Od}} = W_{\text{susp}} - W_{(\text{h/a})\text{base seca}}$$

Pero al valor de la harina o el almidón en base se le debe hacer una corrección debido a la humedad que siempre presenta, para ello se toma un gramo de la harina/almidón y se ubica en una balanza de humedad con el fin de conocer el valor de la humedad (%H) que presenta el gramo analizado. Conociendo este valor se reemplaza en la ecuación:

$$W_{(\text{h/a})\text{base seca}} * 100 = x(100 - \%H)$$

Para la tercera operación añadir H₂O destilada, el valor de peso de harina/almidón en base seca, con corrección de humedad, se agrega junto al agua destilada en el recipiente destinado para ello.

Para realizar la cuarta operación agregar mezcla las acciones que se deben desarrollar son: ubicar el embudo en el puerto elegido, asegurarse de que la válvula de desfogue del biorreactor esté cerrada y vaciar el contenido del recipiente, que contiene la suspensión preparada, a través de un puerto por medio del embudo al biorreactor.

En la última y cuarta etapa **Hidrolizar**, las operaciones son las siguientes: suministrar datos del *batch*, configurar parámetros de control, iniciar hidrólisis y obtener % de dextrosa.

La acción para realizar la primera operación Suministrar datos del batch se basa en proporcionar la información variada sobre el usuario y la tanda a procesar.

Para la operación Configurar parámetros de control las acciones corresponden a suministrar los datos que permiten llevar a cabo el lazo de control de pH, el lazo de control de temperatura y el lazo de control de velocidad, además se especifica el tiempo de hidrólisis, tiempo de proceso y las temperaturas a las cuales se adiciona el CaCl₂ y la enzima, se activan los lazos de control y finalmente se agrega CaCl₂ y la enzima cuando las respectivas alarmas lo indiquen.

Finalmente las acciones de la cuarta operación Obtener % de dextrosa son: tomar una muestra de 40 ml de la suspensión hidrolizada, centrifugarla por 15 minutos a 6000 RPM, filtrar el sobrenadante en papel filtro, determinar el grado de modificación mediante la prueba DNS y finalmente extraer totalmente la suspensión del biorreactor.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

A continuación en la tabla 2.2 se aprecia la relación entre el proceso, las etapas, las operaciones y acciones definidas.

Tabla 2.2 Modelo de proceso de la hidrólisis de harina/almidón de yuca.

PROCESO	ETAPA DE PROCESO	OPERACIÓN DE PROCESO	ACCIÓN DE PROCESO
PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA	LIMPIAR BIORREACTOR	Verificar disponibilidad de los elementos	Suministro de agua disponible.
			Jabón en polvo disponible.
			España disponible.
			Caja de herramientas disponible.
		Desconectar los instrumentos	Mangueras de la tapa del biorreactor desconectadas.
			Sensor de temperatura desconectado del armario de control.
			Sensor de pH desconectado del transmisor de pH.
			Cables del servomotor desconectados.
			Pernos que aseguran la tapa al tanque del biorreactor retirados.
			Tapa del biorreactor retirada y ubicada en lugar seguro.
		Limpiar tapa	Tapa limpiada con esponja, agua y jabón.
			Todas las superficies cubiertas de jabón lavadas con suficiente agua.
			Tapa ubicada en un lugar seguro donde se elimine el exceso de agua.
		Limpiar tanque	Válvula de desfogue cerrada verificada.
	Agua al interior del biorreactor agregada.		
	Paredes del tanque lavadas con esponja.		
	Interior del biorreactor lavado.		
	Ubicar tapa sobre tanque	Válvula de desfogue abierta para eliminar agua con jabón.	
		Tapa del biorreactor colocada en la posición correcta sobre el tanque.	
	PREPARAR Y PROBAR EQUIPOS	Preparar y probar Baño de enfriamiento	Tanque de refrigeración limpio y libre de residuos sólidos Verificado.
			Bomba de refrigeración introducida en el tanque y extremo de la manguera siliconada conectado a la bomba de refrigeración y el otro extremo a un puerto de la tapa del biorreactor verificado.
			Manguera siliconada atravesada por la tapa del tanque de refrigeración y el otro extremo este conectada a un puerto de la tapa del biorreactor verificado.
			Tanque de refrigeración lleno de agua hasta el nivel indicado verificado.
			Pilas extraídas del congelador de la nevera y depositadas dentro del tanque de refrigeración.
Tanque de refrigeración cerrado con la respectiva tapa.			

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

			Temperatura del tanque de refrigeración medida.
			Bomba de refrigeración probada.
		preparar y probar baño termostatado	Tapa retirada. Agua en el nivel indicado y no presencia de residuos sólidos ni suciedad verificada.
			Extremo de manguera siliconada conectado a un puerto del baño termostatado y el otro extremo al puerto superior de la chaqueta del biorreactor verificado.
			Extremo de manguera conectado a un puerto del baño termostatado y el otro extremo al puerto inferior de la chaqueta del biorreactor verificado.
			Temperatura de la perilla fijada, baño termostatado conectado a la red eléctrica y encendido.
		preparar y probar sensor de temperatura	Disponibilidad del termómetro de mercurio Verificado.
			Sensor de temperatura Introducido en un puerto de la tapa del biorreactor.
			Punta del sensor ubicada cerca de la base interna del biorreactor.
			Cable del sensor de temperatura unido al conector correspondiente del armario de control.
			Valor de la temperatura instantánea similar a la temperatura observada en el termómetro de comparación verificada.
		preparar y probar sensor y transmisor de pH	Disponibilidad de <i>buffers</i> 7 y 4, agua destilada, papel absorbente de cocina, soportes para <i>buffers</i> 7 y 4, caja de herramienta verificada.
			Terminales del sensor de pH conectados al transmisor de pH.
			Terminales del transmisor de pH conectados al armario de control.
			Tornillos frontales del transmisor retirados con desatornillador de estrella y tapa del transmisor de pH retirada.
			<i>Buffers</i> 7 y 4 extraídos de la nevera, y ubicados en los soportes correspondientes.
			Electrodo del sensor de pH lavado con agua destilada y secado con papel absorbente de cocina.
			Sensor de pH introducido en el <i>buffer</i> 7, valor indicado en el transmisor de pH observado y tornillo de <i>OFFSET</i> ajustado hasta que el valor de pH este en un valor cercano a 7.
			Electrodo del sensor de pH lavado con agua destilada y secado con papel absorbente de cocina.
Sensor de pH introducido en el <i>buffer</i> 4, valor indicado en el transmisor de pH observado y tornillo de <i>SLOPE</i> ajustado hasta que el valor de pH este en un valor cercano a 4			
Los cuatro pasos anteriores repetidos hasta que el transmisor de pH indique 7 y 4 respectivamente			
Valor final en el transmisor de pH con buffer 7			

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

			verificado, Valor final en el transmisor de pH con buffer 4 verificado.		
			Cable del sensor de pH desconectado del transmisor de pH, cable del sensor de pH introducido por la parte de debajo de un puerto de la tapa del biorreactor, pasado por completo y conectado al transmisor de pH. Sensor de pH ajustado a un puerto de la tapa del biorreactor.		
			Elementos utilizados guardados en su respectivo puesto, tapa del Biorreactor colocada en la posición indicada sobre el tanque del biorreactor.		
		preparar y probar bombas peristálticas			Disponibilidad de bombas peristálticas para ácido y base con sus respectivas mangueras, agua destilada, varios recipientes, solución de ácido (HCl 8%) y base (NaOH 2N) verificada.
					HCl 8% preparado y NaOH 2N preparado.
					Extremo de las mangueras de las bombas peristálticas para ácido y base colocados dentro de un recipiente, extremo de las mangueras de las bombas peristálticas para ácido y base colocados en otro recipiente.
					Bombas peristálticas para ácido y base activadas.
					Bombas peristálticas para ácido y base detenidas cuando caiga agua destilada, agua destilada a un recipiente desechada y recipientes guardados.
					Extremo de la manguera de la bomba peristáltica para ácido ubicado en un recipiente y el otro extremo en otro recipiente.
					Bomba peristáltica para ácido activada y ácido circulando a través de la manguera de esta bomba.
					Bomba peristáltica para ácido detenida cuando caiga por primera vez el acido a un recipiente y el contenido de este recipiente desechado.
					Extremo libre de la manguera de la bomba peristáltica para ácido ubicado en un puerto de la tapa del biorreactor.
					Extremo de la manguera siliconada de la bomba peristáltica para base ubicado en un recipiente y el otro extremo en otro recipiente.
					Bomba peristáltica para base activada y base circulando a través de la manguera siliconada.
		Bomba peristáltica para base detenida cuando la base caiga por primera vez un recipiente y contenido de este recipiente desechado.			
Extremo libre de la manguera siliconado ubicado en un puerto de la tapa del Biorreactor					
Preparar y probar agitador			Tapa del biorreactor ubicada correctamente sobre el tanque del biorreactor, cable del servomotor y cable del encoder acoplados a los conectores correspondientes.		
			Agitador activado.		

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

	PREPARAR SUSPENSIÓN	Verificar disponibilidad de los elementos	Disponibilidad de harina o almidón en base seca, agua destilada y un embudo verificada.
		Pesar la harina/almidón	Peso de la suspensión determinado.
			Peso de harina/almidón en base seca determinado.
			Humedad de harina/almidón corregida.
	Añadir H ₂ O destilada	Harina/almidón pesado.	
		Cantidad de agua destilada determinada.	
	Agregar mezcla al biorreactor.	H ₂ O destilada agregada en el recipiente G hasta alcanzar el volumen deseado.	
		Válvula de desfogue del biorreactor cerrada.	
		Embudo ubicado en el puerto asignado.	
	HIDRÓLIZAR	Contenido del recipiente que contiene la suspensión vaciado a través de un puerto por medio del embudo.	
		Suministrar información	Datos del <i>batch</i> suministrados.
		Configurar parámetros	Datos para lazo de control de pH fijados.
			Datos para lazo de control de temperatura fijados.
			Datos para lazo de control de velocidad fijados.
			Tiempo de hidrólisis fijado.
			Tiempo de proceso total fijado.
		Temperatura de adición CaCl ₂	
		Temperatura de adición enzima	
Iniciar Hidrolisis		Lazos de control de pH, velocidad de agitación y temperatura activados.	
		CaCl ₂ agregado cuando la alarma lo indique.	
		Enzima agregada cuando la alarma lo indique.	
Obtener % de dextrosa	Muestra de 40ml de la suspensión hidrolizada tomada.		
	Muestra centrifugada por 15 minutos a 6000 RPM.		
	Sobrenadante Filtrado en papel filtro.		
	Grado de modificación determinado mediante DNS.		
		Suspensión del biorreactor extraída totalmente.	

2.2. Modelo físico del proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca

Continuando con la norma ISA 88 el siguiente modelo a desarrollar es el físico. La norma ISA 88 parte I dice que el modelo físico puede usarse para describir los activos físicos de una empresa en términos de empresa, sitios, áreas, células de proceso, unidades, módulos equipo y módulos control, de la misma forma los activos físicos de una empresa involucrados en una fabricación por lotes son organizados usualmente en una forma jerárquica como la descrita en la figura 2.4 Los agrupamientos de nivel inferior se combinan para formar agrupamientos superiores en la jerarquía. El modelo tiene siete niveles, comenzando en la parte superior con empresa, sitio y área. Estos tres niveles frecuentemente se definen por consideraciones comerciales y no se modelan más allá en este documento.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

Los tres niveles más altos hacen parte del modelo para identificar de manera apropiada la relación de los equipos de niveles más bajos con la empresa de manufactura, mientras que los cuatro niveles más bajos de este modelo se refieren a tipos de equipo específicos [1].

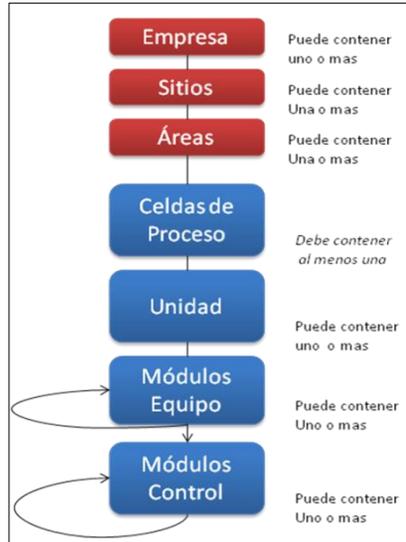


Figura 2.4. Modelo Físico ISA 88 [1]

A continuación se muestra el desarrollo del modelo físico para el proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca, exponiendo que para este trabajo de grado se realizaron las subdivisiones correspondientes y sugeridas por la norma ISA 88 asumiendo que la universidad del Cauca corresponde al primer nivel del modelo físico, es decir corresponde al nivel de empresa y consecuentemente se hacen las siguientes asignaciones para sitio y área.

Empresa: Universidad del Cauca

Sitio: La Universidad del Cauca cuenta con varias Facultades, entre ellas la Facultad de Ciencias Agropecuarias, ubicada en la Vereda las Guacas de Popayán, es aquí en donde se lleva a cabo el proceso productivo al que se le aplican los modelos mencionados del estándar ISA 88 parte I.

Área: El sitio seleccionado está conformado por las siguientes áreas: portería, área de parqueadero, salón múltiple, área de administrativos, sala de profesores, área de servicios sanitarios, laboratorio de empaques, planta piloto de cárnicos, lácteos y vegetales, aulas de clase, cafetería, zonas verdes y por último el laboratorio de biotecnología donde se lleva a cabo el proceso de hidrólisis de harina y almidón de yuca. La única área que contiene una celda de proceso es el área de producción, por tanto es esta área la que corresponde modelar mediante el estándar ISA 88 parte I.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

A continuación en la figura 2.5 se describe gráficamente el Laboratorio de biotecnología, espacio designado para llevar a cabo el proceso de hidrólisis.

En la zona de producción se encuentran ubicados los equipos, instrumentos y accesorios que permiten desarrollar el proceso de hidrólisis, todos ellos dispuestos de tal forma que la cercanía permite llevar a cabo las conexiones necesarias, además frente a este espacio se encuentra el cuarto de reactivos, al cual se debe acceder para poder obtener los reactivos y elementos de laboratorio que se requieren durante el proceso.

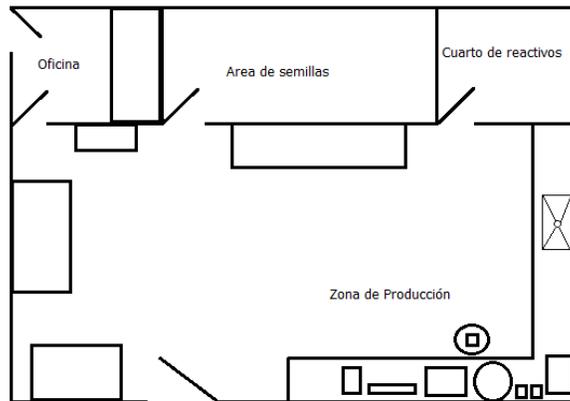


Figura 2.5 Distribución Laboratorio de Biotecnología. Fuente propia.

2.2.1. Celda de Proceso

Se entiende como celda de proceso una agrupación lógica de equipo que incluye el equipo requerido para la producción de una o más tandas. Define el alcance de control lógico de un conjunto de equipos de proceso dentro de un área [1]. Entonces acudiendo a la definición que ofrece ISA 88, la celda de proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca, tiene como tarea producir 2 tipos de productos, materia prima para películas plastificantes y materia prima para termoformados, esto depende del insumo a hidrolizar. Sin embargo el proceso de producción es similar para cada uno de los productos a obtener.

2.2.2. Clasificación de la celda de proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca

Se puede decir que la celda de proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca es una celda de proceso multi-producto, pues produce dos tipos de productos que se obtienen con el mismo procedimiento variando algunos parámetros del proceso que serán mencionados más adelante. Adicionalmente la celda de proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca posee una estructura de trayectoria única debido a que la tanda pasa por una única unidad.

Identificación de unidades

La celda de proceso del laboratorio de biotecnología contiene una sola unidad: *Unidad de hidrolizado*. Una vez clasificada la celda e identificada la unidad se debe continuar con el desarrollo del modelo físico que incluye el módulo de control y el módulo de equipo, entendiéndose por módulo de equipo como un grupo funcional de equipo que puede llevar a cabo un número finito de actividades menores específicas de proceso, puede ser parte de una unidad o formar una agrupación aparte de equipo dentro de una célula [1].

Atendiendo a estas definiciones, en primera instancia se estableció una convención por colores, ver figura 2.6, para diferenciar los componentes de la celda, de la unidad, de los módulos de control y de los módulos de equipo. Una vez establecida dicha convención se desarrolló un cuadro asociativo, ver figura 2.7.

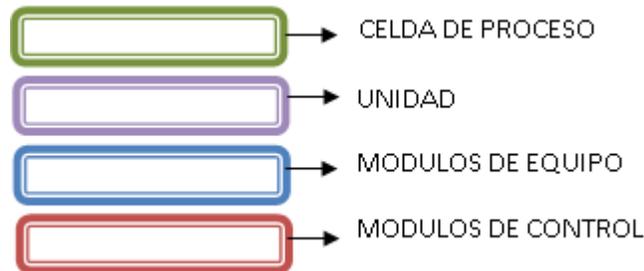


Figura 2.6. Convenciones para identificar de cada nivel de la celda de proceso.
Fuente propia.

El primer nivel se designó para la celda de proceso **CP_HHAY** (Celda de proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca), a la cual pertenece la unidad de hidrolizado **HIDRO_UNIT** que a su vez contiene 4 módulos de equipo, Sistema de pH (**ME_PH**), Sistema de calentamiento (**ME_CAL**), Sistema de enfriamiento (**ME_ENFR**) y Sistema de agitación (**ME_AGIT**).

Asociados al módulo de equipo **ME_PH** se encuentran los módulos de control: Bomba peristáltica para base, Bomba peristáltica para ácido y transmisor-sensor de pH, al módulo de equipo **ME_CAL** se encuentran vinculados: una resistencia calorífica, un sensor y un transmisor de temperatura, mientras que al modulo de equipo **ME_ENFR** se encuentran asociados una bomba de refrigeración, un sensor y un transmisor de temperatura y por ultimo al módulo **ME_AGIT** se asocian un servomotor, un encoder y un variador.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

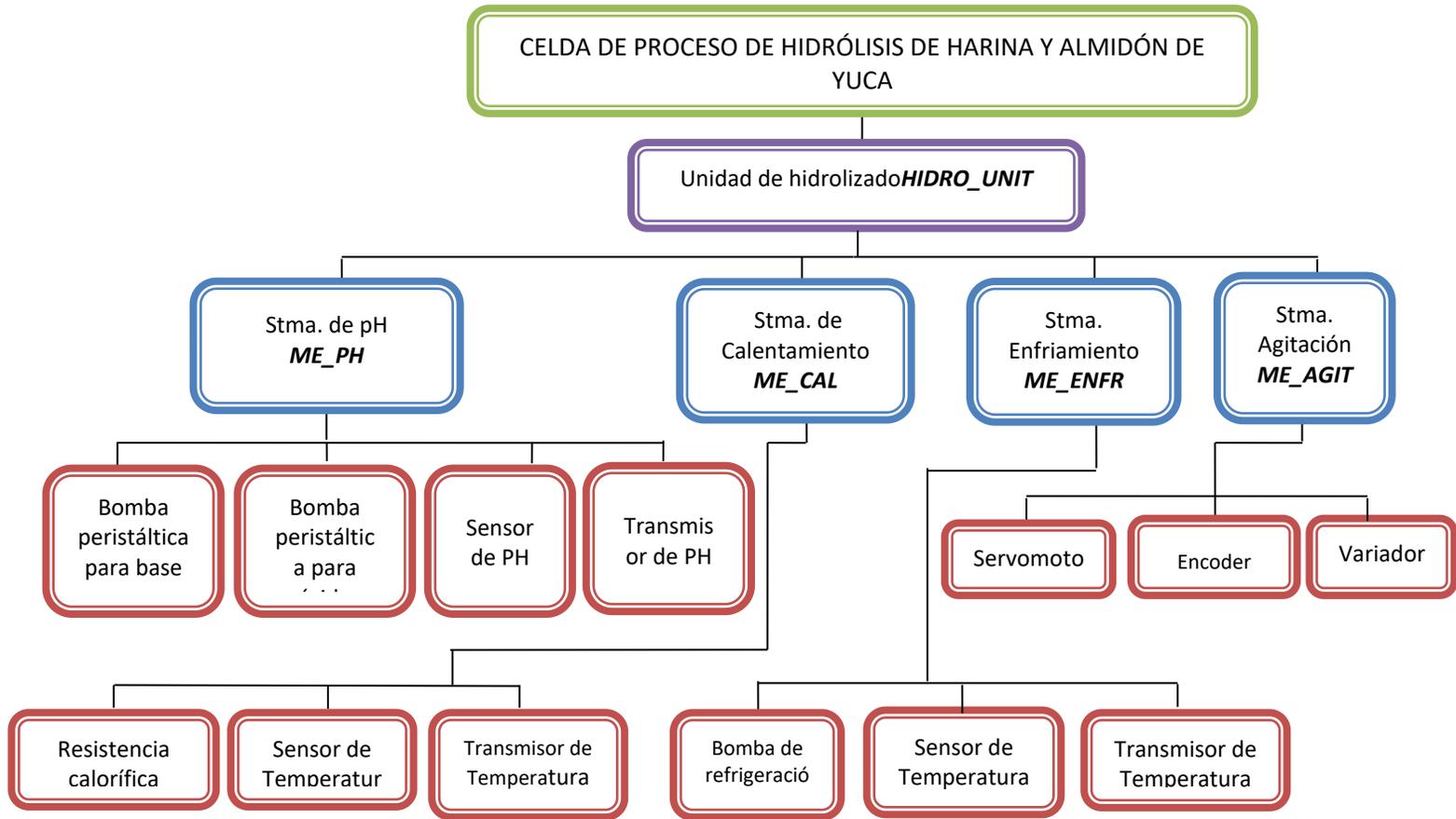


Figura 2.7. Modelo físico de la celda de proceso de hidrólisis de harina y almidón de yuca. Fuente propia.

2.3. Modelo de control procedimental del proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca

El control procedimental es una característica del proceso por tandas. Es el control que permite al equipo realizar un proceso por tandas, además está construido con elementos procedimentales que se combinan de una manera jerárquica para cumplir la meta de un proceso completo como lo define el modelo de proceso mostrado en la figura 2.8 [1].



Figura 2.8. Modelo de control procedimental [1].

Como ya se ha completado el modelo físico se procede a definir el modelo de control de procedimientos.

2.3.1. Procedimiento

Se ha definido que un *batch* de hidrólisis de harina/almidón de yuca se denominará: **P_HHAY**.

2.3.2. Procedimiento de Unidad

Un procedimiento de unidad consiste en un conjunto ordenado de operaciones que hace que tenga lugar una secuencia de producción contigua dentro de una unidad [1] y dado que el proceso de hidrólisis de harina y almidón de yuca cuenta con una sola unidad, los procedimientos de unidad quedan definidos así: Procedimiento de Unidad: PU_HIDRO y la unidad: HIDRO_UNIT.

2.3.3. Operaciones

Una operación es un conjunto ordenado de fases que define una secuencia de proceso mayor que toma el material que está siendo procesado de un estado a otro [1]. Por lo tanto al acatar esta definición se plantean las siguientes operaciones descritas en la tabla 2.3.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

Tabla 2.3 Relación entre operaciones y procedimiento de unidad

Operación	Procedimiento de Unidad
Op_Vrfr_dsbd_elmts	PU_HIDRO
Dscntr_instruments	
Lmpr_tp	
Lmpr_tnq	
Ubcrt_tp_n_tnq	
Prpr_prbr_sstma_rfg	
prpr_prbr_bañõ_term	
Prpr_prbr_sx_temp	
Prpr_prbr_sx_tx_pH	
Prpr_prbr_bmbst_per	
Prpr_prbr_agtdr	
Vrf_dsp_elm	
Psr_hna/almdn	
Añdr_agd	
Agr_mzcl_bio.	
Smnstr_info	
Cnf_prmts	
Incr_hdls	
Obnr_%_dex	

2.3.4. Fases

El elemento más pequeño de control procedimental que puede realizar una tarea es una fase [1]. De esta forma fueron establecidas 28 fases asociadas a 4 operaciones y a un procedimiento de unidad. La descripción de cada fase y la relación con su respectiva operación se puede observar en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Relación entre descripción de fase, fase y operación

Operación	Fase	Descripción de fase
Op_Vrfr_dsbd_elmts	Dis_ag	Disponer de un suministro de agua.
	Dis_jb	Disponer de jabón en polvo.
	Dis_spj	Disponer de esponja.
	Dis_cj_hmt	Disponer de caja de herramientas.
Dscntr_instruments	Dsntr_mgrs	Desconectar de la tapa del biorreactor las mangueras siliconadas.
	Dsntr_sx_T	Desconectar el sensor de temperatura del armario de control.
	Dsntr_sx_pH	Desconectar el sensor de pH del transmisor de pH.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

	Dsntr_cbl_srvmt	Desconectar los cables del servomotor.
	Qtr_prns	Retirar los pernos que aseguran la tapa al tanque del biorreactor.
	Qtr_tp	Retirar la tapa del biorreactor y ubicarla en un lugar seguro.
Lmpr_tp	Lmpr_tp	Limpiar la tapa con la esponja con agua y jabón.
	Enjgr	Lavar con suficiente agua todas las superficies cubiertas de jabón
	Ubr_tp	Ubicar la tapa en un lugar seguro donde se pueda eliminar el exceso de agua.
Lmpr_tnq	Vrf_vlv	Verificar que la válvula de desfogue este cerrada.
	Aggr_ag	Agregar agua al interior del biorreactor.
	Lvr_tnq	Lavar con una esponja las paredes del tanque.
	Enjgr_tnq	Lavar el interior del biorreactor.
	Abr_vlv	Abrir la válvula de desfogue para eliminar el agua con jabón.
Ubrcr_tp_n_tnq	Ubrcr_tp	Colocar la tapa del biorreactor en la posición correcta sobre el tanque
Prpr_prbr_sstma_rfg	Vrf_tnq	Verificar que el tanque de refrigeración este limpio y libre de residuos sólidos.
	Int_bom_ref	Introducir la bomba de refrigeración dentro del tanque y verificar que un extremo de una manguera siliconada esté conectado a la bomba de refrigeración y el otro extremo a un puerto de la tapa del biorreactor.
	Ubrcr_mngra	Verificar que una manguera siliconada atraviese la tapa del tanque de refrigeración y el otro extremo este conectada a un puerto de la tapa del biorreactor.
	Llnrn_tnq	Llenar el tanque de refrigeración utilizando una manguera siliconada, hasta el nivel indicado.
	Extr_pls	Extraer las pilas del congelador de la nevera y depositarlas dentro del tanque de refrigeración.
	Tpr_tnq	Cerrar el tanque de refrigeración con la respectiva tapa.
	Mdr_tem	Medir y verificar temperatura del tanque de refrigeración.
	Prbr_bom_ref	Activar bomba de refrigeración para probarla.
prpr_prbr_baño_term	Vrf_ba_term	Retirar la tapa y verificar que el agua no presente residuos sólidos, no este sucia y se encuentre en el nivel indicado.
	Rlizr_cnx	Conectar un extremo de una manguera siliconada a un puerto del baño termostatado y el otro extremo al puerto superior de la chaqueta del biorreactor.
	Cntr_mgr	Conectar un extremo de una manguera siliconada a un puerto del baño termostatado y el otro extremo al puerto inferior de la chaqueta del biorreactor.
	Ba_term_on	Fijar la temperatura de la perilla y conectar el baño termostatado a la red eléctrica y encenderlo.
Prpr_prbr_sx_temp	Vrf_term	Verificar disponibilidad de un termómetro de mercurio.
	Adcr_Sx_tem	Introducir el sensor de temperatura, en un puerto de la tapa del biorreactor.
	Vrf_psc_sx_T	Verificar que la punta del sensor este cerca de la base interna del biorreactor.
	Cntr_cbl_arm	Conectar el cable del sensor de temperatura al conector correspondiente del armario de control.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

	Vrf_tem	Verificar que el valor de la temperatura instantánea es similar a la temperatura observada en el termómetro.
Prpr_ prbr_sx _tx_pH	Vrf_elmts	Verificar disponibilidad de <i>buffers</i> 7 y 4, agua destilada, papel absorbente de cocina, soportes para <i>buffers</i> 7 y 4, caja de herramienta.
	Cntr_sx_tx_pH	Conectar los terminales del sensor de pH al transmisor de pH.
	Cntr_tx_arm	Conectar los terminales del transmisor de pH al armario de control.
	Qtr_Tp_Tx	Retirar los tornillos frontales del transmisor con desatornillador de estrella y retirar la tapa del transmisor de pH.
	Adcr_bfrs	Sacar los <i>buffers</i> 7 y 4 de la nevera, y ubicarlos en los soportes correspondientes.
	Lvr_electrd	Lavar con agua destilada el electrodo del sensor de pH y secarlo con papel absorbente de cocina.
	Ajstr_4	Introducir el sensor de pH en el <i>buffer</i> 7, observar el valor indicado en el transmisor de pH y ajustar el tornillo de OFFSET hasta que el valor de pH este en un valor cercano a 7.
	Lvr_electrd	Lavar con agua destilada el electrodo del sensor de pH y secarlo con papel absorbente de cocina.
	Ajstr_4	Introducir el sensor de pH en el <i>buffer</i> 4, observar el valor indicado en el transmisor de pH y ajustar el tornillo de SLOPE hasta que el valor de pH este en un valor cercano a 4.
	Lvr_electrd	Lavar con agua destilada el electrodo del sensor de pH y secarlo con papel absorbente de cocina, repetir los 4 pasos anteriores hasta que el transmisor de pH indique 7 y 4 respectivamente.
	Vrf_vlr_cal	Verificar el valor final que se observó en el transmisor de pH con <i>buffer</i> 7 y con <i>buffer</i> 4.
	Adcr_cx_sx_pH	Desconectar el cable del sensor de pH del transmisor de pH, introducir el cable del sensor de pH por la parte de debajo de un puerto de la tapa del biorreactor y pasarlo por completo, luego conectarlo al transmisor de pH, ajustar el sensor de pH al puerto asignado.
	Grdr_elmnts	Guardar los elementos utilizados en su respectivo puesto, colocar la tapa del Biorreactor en la posición indicada sobre el tanque del biorreactor.
Prpr_ prbr_bmbs _per	Vrfr_dsp_elmnts	Verificar disponibilidad de bombas peristálticas para ácido y base con sus respectivas mangueras, agua destilada, varios recipientes y solución de ácido (HCl 8%) y base (NaOH 2N).
	Ppr_rctvs	Preparar HCl 8%, preparar NaOH 2N.
	Rlz_cx	Colocar un extremo de las mangueras de las bombas peristálticas para ácido y base dentro de un recipiente y colocar el otro extremo de las mangueras de las bombas peristálticas para ácido y base en otro recipiente.
	Incr_lvdo	Activar las bombas peristálticas.
	Pr_lvdo	Desactivar bombas peristálticas y desechar el agua estilada del recipiente que contiene el agua sucia y guardar los recipientes.
	Adcr_cx	colocar un extremo de la manguera de la bomba peristáltica para ácido en un recipiente y el otro extremo en otro recipiente .
	Incr_prga	Activar bomba peristáltica para ácido y dejar que circule el ácido a través de la manguera correspondiente hasta que caiga por

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

		primera vez el ácido a un recipiente.
	Pr_prga	Desactivar bomba peristáltica para ácido y desechar el ácido purgado del recipiente que lo contiene.
	Adcr_cx	Colocar el extremo libre de una manguera siliconada a un puerto de la tapa del biorreactor.
	Rlz_cx	Colocar un extremo de la manguera de la bomba peristáltica para base en un recipiente y el otro extremo en otro recipiente.
	Incr_prg_fnl	Activar bomba peristáltica para base y dejar que circule la base a través de la manguera respectiva hasta que la base caiga por primera vez a un recipiente .
	Pr_prg_fnl	Desactivar bomba peristáltica para base y desechar la base purgada, colocar el extremo libre de la manguera siliconada a un puerto de la tapa del Biorreactor.
Prpr_prbr_agtdr	Vrf_psc_tp_tnq	Verificar que la tapa del biorreactor esté bien puesta sobre el tanque del biorreactor, acoplar el cable del servomotor y el encoder a los respectivos conectores.
	Prb_ag	Activar agitador y observar a través de la mirilla de la chaqueta del biorreactor que el agitador este girando y desactivar agitador
Vrf_dsp_elm	Vrf_dsp_ha	Verificar disponibilidad de harina o almidón en base seca, agua destilada y un embudo.
Psr_hna/almdn	Dtrmnr_Wsus p	Determinar peso de la suspensión.
	Dtrmnr_W h/n bs	Determinar peso de harina/almidón en base seca.
	Crr_hmd	Hacer corrección de humedad a harina/almidón.
	Psr_ha	Pesar en balanza hasta alcanzar valor especificado.
Añdr_agd	Dtrmnr_cnt_agd	Determinar cantidad de agua destilada.
	Agr_agd	Agregar H ₂ O destilada en el recipiente G hasta alcanzar el volumen deseado.
Agr_mzcl_bio.	Vrf_vlv_crrd	Asegurarse que la válvula de desfogue del biorreactor esté cerrada.
	Ubcr_embd	Ubicar embudo en un puerto de la tapa del biorreactor.
	Vcr_ssp	Vaciar la suspensión contenida en un recipiente a través de un puerto de la tapa del biorreactor por medio del embudo.
Smnstr_info	Cnf_prmts	Suministrar datos del <i>batch</i> .
Cnf_prmts	Cnf_prmts_lc_pH	Fijar valores para lazo de control de pH.
	Cnf_prmts_lc_tmp	Fijar valores para lazo de control de temperatura.
	Cnf_prmts_lc_vel	Fijar valores para lazo de control de velocidad de agitación.
	Cnf_prmts_ttp	Fijar el tiempo total del proceso.
	Cnf_prmts_th	Fijar el tiempo de hidrólisis.
	Cnf_prmts_tem_ad_clr	Fijar la temperatura a la cual se debe adicionar el CaCl ₂ .
	Cnf_prmts_te	Fijar la temperatura a la cual se debe adicionar la enzima.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

	m_ad_enz	
Incr_hdls	actvr_hid	Lazos de control de pH, velocidad de agitación y temperatura activados.
	Agr_clr	Agregar CaCl ₂ cuando la alarma lo indique.
	Agr_enz	Agregar la enzima cuando la alarma lo indique.
Obnr_% _dex	Tmr_mstr	Tomar una muestra de 40ml de la suspensión hidrolizada.
	Cntrfg_mstr	Centrifugar la muestra por 15 minutos a 6000 RPM.
	Filtr	Filtrar sobrenadante en papel filtro.
	Dtrmnr_gr_mdf	Determinar grado de modificación mediante DNF.
	Extr_sps	Extraer totalmente suspensión del biorreactor.

2.4. Récipes del proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca

El paso siguiente en el modelado con el estándar ISA 88 parte I es la implementación de los récipes, entendiendo por récipe una entidad que contiene el mínimo conjunto de información que define de manera única los requerimientos de manufacturación de un producto específico [1], pero el protocolo para llevar a cabo el proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca para la producción de empaques biodegradables aún no est  establecido pues se debe mencionar que las características de una misma variedad de yuca no son constantes, es decir que para dos lotes diferentes de la misma variedad de harina/almidón de yuca, no se pueden esperar los mismos resultados habiendo empleado la misma cantidad de enzima y tiempo de hidrólisis, por tal razón el récipe que se presenta a continuación es un formato del mismo en su primera versión, por ello no contiene información detallada.

Tabla 2.5 Formato R cipe maestro Hidrólisis de harina/almidón de yuca

R�cipe maestro hidrólisis de harina de yuca							
ID		RM_HHY					
Nombre del Producto		Materia prima para termoformados					
Características		Suspensión de harina de yuca hidrolizada					
Autor		Luz Dary Patiño Jiménez William Enrique León Hoyos					
Materiales para una tanda de 2000gr							
Entradas							
Material	Cantidad	Unidad					
Harina de yuca base seca		gr					
Agua destilada		gr					
Enzima		ml					
CaCL ₂		ml					
Salidas							
Material	Cantidad	Unidad					
Suspensión de harina de yuca hidrolizada		gr					
Parámetros							
Fase	Entrada	Salida	Min	Max	Defecto	Unidades	Chequeado
Dis_ag	Disponer de agua	Agua disponible					

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

Dis_jb	Disponer de jabón	Jabón disponible					
Dis_spj	Disponer de esponja	Esponja disponible					
Dis_cj_hmt	Disponer de caja de herramientas	Caja de herramientas disponible					
Dsntr_mgrs	Desconectar mangueras	Mangueras desconectadas					
Dsntr_sx_T	Desconectar sensor de temperatura	Sensor de temperatura desconectado					
Dsntr_sx_pH	Desconectar sensor de pH	Sensor de desconectado pH					
Dsntr_cbl_srvmt	Desconectar cables de servomotor	Cables de servomotor desconectados					
Qtr_prns	Quitar pernos	Pernos quitados					
Qtr_tp	Quitar tapa	Tapa quitada					
Lmpr_tp	Limpiar tapa	Tapa limpia					
Enjgr	Lavar tapa	Tapa lavada					
Ubr_tp	Ubicar tapa	Tapa ubicada					
Vrf_vlv	Verificar válvula	Válvula verificada					
Aggr_ag	Agregar agua	Agua agregada					
Lvr_tnq	Lavar tanque	Tanque lavado					
Enjgr_tnq	Enjuagar tanque	Tanque enjuagado					
Abr_vlv	Abrir válvula	Válvula abierta					
Ubr_tp	Ubicar tapa	Tapa ubicada					
Vrf_tnq	Verificar tanque	Tanque verificado					
Int_bom_ref	Introducir bomba de refrigeración	Bomba de refrigeración introducida					
Ubr_mngra	Ubicar mangueras	Mangueras ubicadas					
Llnr_tnq	Llenar tanque	Tanque lleno					
Extr_pls	Extraer pilas	Pilas extraídas					
Tpr_tnq	Tapar tanque	Tanque tapado					
Mdr_tem	Medir temperatura	Temperatura medida					
Prbr_bom_ref	Probar bomba de refrigeración	Bomba de refrigeración probada					
Vrf_ba_term	Verificar baño termostatado	Baño termostatado verificado					
Rlzc_cnx	Realizar conexiones	Conexiones realizadas					
Cntr_mgr	Conectar mangueras	Mangueras conectadas					
Ba_term_on	Encender baño termostatado	Baño termostatado encendido					
Vrf_term	Verificar temperatura	Temperatura verificada					

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

Adcr_Sx_tem	Adecuar sensor de temperatura	Sensor de temperatura adecuado					
Vrf_psc_sx_T	Verificar posición de sensor de temperatura	Posición de sensor de temperatura verificado					
Cntr_cbl_arm	Conectar cables a armario	Cables conectados a armario					
Vrf_tem	Verificar temperatura	Temperatura verificada					
Vrf_elmts	Verificar elementos	Elementos verificados					
Cntr_sx_tx_pH	Conectar sensor y transmisor de pH	Sensor y transmisor de pH conectados					
Cntr_tx_arm	Conectar transmisor de pH a armario	Transmisor de pH conectado a armario					
Qtr_Tp_Tx	Quitar tapa de transmisor de pH	Tapa de transmisor de pH extraída					
Adcr_bfrs	Adecuar <i>buffers</i>	Buffers adecuados					
Lvr_electrd	Lavar electrodo	Electrodo lavado					
Ajstr_7	Ajustar transmisor de pH cerca a 7	transmisor de pH ajustado cerca a 7					
Lvr_electrd	Lavar electrodo	Electrodo lavado					
Ajstr_4	Ajustar transmisor de pH cerca a 4	transmisor de pH ajustado cerca a 4					
Lvr_electrd	Lavar electrodo	Electrodo lavado					
Vrf_vlr_cal	Verificar calores calibraion	Valores de calibración verificados					
Adcr_cx_sx_pH	Adecuar conexiones sensor pH	conexiones sensor pH adecuadas					
Grdr_elmnts	Guardar elementos	Elementos guardados					
Vrfr_dsp_elmnts	Verificar disponibilidad de elementos	Disponibilidad de elementos verificados					
Ppr_rctvs	Preparar reactivos	Reactivos preparados					
Rlz_cx	Realizar conexiones	Conexiones realizadas					
Incr_lvdo	Iniciar lavado bombas peristálticas	Bombas peristálticas lavadas					
Pr_lvdo	Parar lavado de bombas	Lavado bombas peristálticas					

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

	peristálticas	parado					
Adcr_cx	Adecuar conexiones	Conexiones adecuadas					
Incr_prga	Iniciar purga de bombas peristálticas	Bombas peristálticas purgadas					
Pr_prga	Parar purga de bombas peristálticas	Purga de bombas peristálticas parado					
Adcr_cx	Adecuar conexiones	Conexiones adecuadas					
Rlz_cx	Realizar conexiones	Conexiones realizadas					
Incr_prg_fnl	Iniciar purga final	Purga final iniciada					
Pr_prg_fnl	Parar purga final	Purga final parada					
Vrf_psc_tp_tnq	Verificar posición de tapa en tanque	Posición de tapa en tanque verificada					
Prb_ag	Probar agitador	Agitador probado					
Vrf_dsp_ha	Verificar disponibilidad de harina/almidón de yuca	Disponibilidad de harina/almidón de yuca verificada					
Dtrmnr_Wsusp	Determinar peso de la suspensión	Peso de la suspensión determinados					
Dtrmnr_W h/n bs	Determinar peso de la harina/almidón base seca	Peso de la harina/almidón base seca determinado					
Crr_hmd	Corregir humedad	Humedad corregida					
Psr_ha	Pesar harina/almidón	Harina/almidón pesado					
Dtrmnr_cnt_agd	Determinar cantidad agua destilada	Cantidad agua destilada determinada					
Agr_agd	Agregar agua destilada	Agua destilada agregada					
Vrf_vlv_crrd	Verificar válvula cerrada	válvula cerrada verificada					
Ubcr_embd	Ubicar embudo	Embudo verificado					
Vcr_ssp	Vaciar suspensión	Suspensión vaciada					
Cnf_prmts	Suministrar datos del <i>batch</i>	Datos del <i>batch</i> suministrados					
Cnf_prmts_lc_pH	Fijar parámetros lazo de control de pH	Parámetros lazo de control de pH fijados					
Cnf_prmts_lc_tmp	Fijar parámetros lazo	Parámetros lazo de control de					

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

	de control de temperatura	temperatura fijados					
Cnf_prmts_lc_vel	Fijar parámetros lazo de control de velocidad	Parámetros lazo de control de velocidad fijados					
Cnf_prmts_ttp	Fijar tiempo total de proceso	tiempo total de proceso fijado					
Cnf_prmts_th	Fijar tiempo de hidrólisis	tiempo de hidrólisis fijado					
Cnf_prmts_tem_ad_clr	Fijar temperatura de adición de CaCl ₂	Temperatura de adición de CaCl ₂ fijada					
Cnf_prmts_tem_ad_enz	Fijar temperatura de adición de enzima	Temperatura de adición de enzima fijada					
actvr_hid	Activar lazos de control	lazos de control activados					
Agr_clr	Agregar CaCl ₂	CaCl ₂ agregado					
Agr_enz	Agregar enzima	Enzima agregada					
Tmr_mstr	Tomar muestra de suspensión	Muestra de suspensión tomada					
Cntrfg_mstr	Centrifugar muestra	Muestra centrifugada					
Filtr	Filtrar sobrenadante	Sobrenadante filtrado					
Dtrmnr_gr_mdf	Determinar grado de modificación	grado de modificación determinado					
Extr_sps	Extraer suspensión totalmente	Suspensión extraída totalmente					

Por otro lado, es una realidad que tener un detallado conocimiento sobre el proceso, los equipos, instrumentos y demás elementos presentes en el desarrollo del proceso de hidrólisis de harina y almidón garantizan un mejor aprovechamiento de los recursos y se refleja en la productividad alcanzada, por ello en el siguiente capítulo se incluye información detallada correspondiente a la ingeniería de automatización que permite complementar la documentación presentada bajo los modelos de la norma ISA 88 parte I desarrollados en los párrafos anteriores.

BIBLIOGRAFÍA CAPITULO 2

[1] ISA. ANSI/ISA-S88.01-1995. Estados Unidos. La Organización.2006. 320 p

CAPÍTULO 3: INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA Y DETALLADA

Todo proyecto de automatización requiere se le realice una ingeniería. Esta básicamente está dividida en tres: conceptual, básica y detallada. En estas se recogen desde las especificaciones del cliente, los diseños básicos y los planos detallados finales de la implementación.

La empresa Centricol, responsable del diseño e implementación del biorreactor de 20 y 5 litros, no realizó documentación técnica, ni manual de usuario, ni planos de tipo alguno. Lo que condujo a que en el presente trabajo de pregrado se realice el levantamiento de todo tipo de planos, tanto de cableado, como estructurales, P&ID, etc, garantizando se disponga de una completa documentación de la planta automatizada.

3.1 Ingeniería conceptual

La Ingeniería Conceptual es la primera fase o etapa de un proyecto de ingeniería, es la fase en la cual se fijan los objetivos deseados por el cliente, se establecen que tipo de tecnologías se aplican y se definen el marco de normas técnicas que regularán los diseños [1].

3.1.1 Descripción del proceso de hidrólisis

El proceso consiste básicamente en hidrolizar el almidón o la harina de determinada variedad de yuca, esto depende del producto que se desee obtener. Si el objetivo es obtener materia prima para termoformados se debe hidrolizar harina mientras que si se desea obtener materia prima para obtener películas plastificantes se debe hidrolizar almidón.

Una vez se ha seleccionado el producto a obtener se prepara una suspensión con una determinada masa de harina o almidón, según sea el caso, y añadiendo agua destilada, la suspensión se coloca dentro del biorreactor para así empezar el proceso.

Como primer paso se sella el biorreactor colocando la tapa para evitar la pérdida de calor dentro del mismo, luego se empieza a calentar la suspensión desde temperatura ambiente fijando una temperatura deseada en el rango de 50°C o 55°C, el valor exacto depende de si es almidón, harina y la variedad.

El calentamiento se realiza haciendo circular agua caliente a través de la doble chaqueta del biorreactor, y a su vez se empieza a dosificar base o ácido para subir o bajar el pH a un valor deseado de 5.8 o 6.2 requerido al inicio del proceso independiente de si es harina o almidón, esto se debe a que la suspensión preparada presenta un valor de pH no constante que depende del lote y la variedad. Después de cierto tiempo, en el cual se ha alcanzado una determinada

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

temperatura en la suspensión, se añade una cantidad medida de CaCl_2 al 30%, esta temperatura se encuentra en el rango de 46°C a 48°C y depende de la variedad de harina o almidón que se esté procesando. El Cloruro de calcio al 30% se adiciona de acuerdo a las necesidades de la enzima según el proveedor (70 mg CaCl_2/Kg almidón) [2].

Al alcanzar una segunda temperatura requerida en el proceso, normalmente dos grados por debajo del valor deseado de temperatura, se añade un determinado volumen de la enzima α -amilasa bacteriana de *Bacillus amyloliquefaciens* (BAN 240L) de los laboratorios *SIGMA Aldrich*. El propósito de esta es modificar la estructura molecular del almidón, para ello se debe mantener una temperatura (50°C o 55°C) y un pH (6.0) deseados en la suspensión durante un tiempo determinado, para que la enzima empiece a actuar, a este tiempo se le denomina tiempo de hidrólisis.

Durante el tiempo de hidrólisis la suspensión, no solo se calienta sino que, también se enfría haciendo circular agua fría a través de un serpentín, buscando garantizar que la temperatura permanezca estable alrededor del valor deseado. Una vez finaliza el tiempo de hidrólisis se procede a bajar el pH de la suspensión de 6.0 a 4.0 para que la enzima deje de actuar, e igualmente bajar la temperatura a un nuevo valor deseado de 40°C para poder retirar la suspensión.

Finalmente se retira la suspensión y se realizan las pruebas para la determinación del equivalente de dextrosa empleando la metodología DNS (Ácido 3,5-dinitrosalicílico) [3], usando un espectrofotómetro SHIMADZU UV 1800 adaptado a software para procesamiento de datos UV PROBE® pertinentes con el fin de determinar el grado de dextrosa de la suspensión.

3.1.2 Descripción del biorreactor

El biorreactor marca Centricol es un tanque cilíndrico con capacidad de 5 lts, fabricado en acero inoxidable, con dimensiones específicas, ver anexo G, y diseñado para llevar a cabo procesos químicos aeróbicos o anaeróbicos que involucren organismos o sustancias bioquímicamente activas, derivadas de dichos organismos. El biorreactor y los diferentes módulos de equipo hacen parte de la celda de proceso de hidrólisis de harina y almidón de yuca.

El funcionamiento de esta celda de proceso se subdivide en 3 subsistemas:

1. Sistema de control de temperatura.
2. Sistema de control de pH.
3. Sistema de control de velocidad.

El sistema de control de temperatura se divide en 2 subsistemas:

- Sistema de calentamiento.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

- Sistema de enfriamiento.

El sistema de calentamiento está constituido por:

- Sensor de temperatura o Pt-100, ver figura 3.2a.
- Transmisor indicador de temperatura, ver figura 3.2b
- Baño termostático, ver figuras 3.2c y 3.2d.

El sistema de enfriamiento está constituido por:

- Sensor de temperatura o Pt-100, ver figura 3.2a.
- Transmisor indicador de temperatura, ver figura 3.2b
- Baño de enfriamiento, ver figuras 3.3a y 3.3b.

El sistema de control de pH está constituido por los siguientes equipos:

- Sensor de pH, ver figura 3.4a
- Transmisor indicador de pH, ver figura 3.4b
- Bomba peristáltica de ácido, ver figura 3.4c
- Bomba peristáltica de base, ver figura 3.4d

El sistema de control de velocidad está constituido por los siguientes equipos:

- Servomotor y *encoder*, ver figura 3.5a.
- Eje y aspas, ver figura 3.5b
- Driver del servomotor, ver figura 3.5c



Figura 3.1a Biorreactor en acero inoxidable de 5Lts con doble chaqueta por donde circula agua caliente. Marca Centricol.

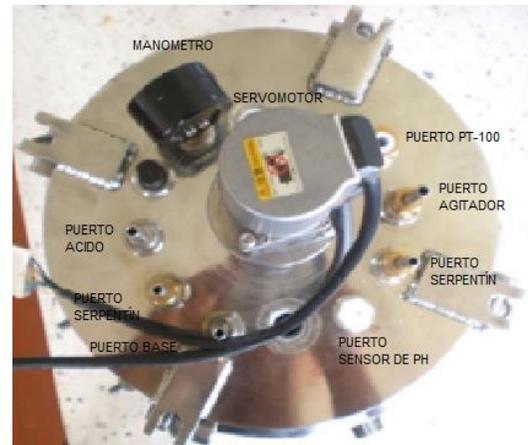


Figura 3.1b Tapa del biorreactor de 5lts, se observa el servomotor marca *Delta Electronics Inc* y el manómetro marca *HI-Tech*, igualmente los puertos de las mangueras del serpentín y de las bombas peristálticas y de los sensores de pH y Temperatura.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

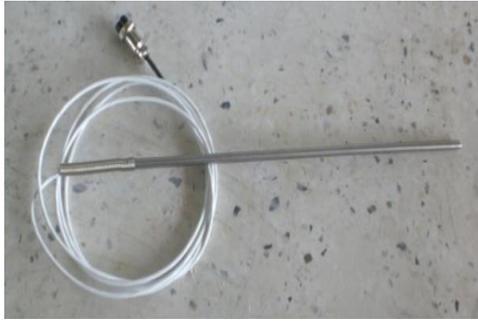


Figura 3.2a Pozuelo con Pt-100, utilizada para medir la temperatura dentro del Biorreactor.



Figura 3.2b Transmisor de temperatura marca Siemens de 4-20mA.



Figura 3.2c Baño termostático Centricol, cuenta con depósito de agua, una bomba sumergible, una resistencia eléctrica y una perilla de configuración de potencia para la resistencia.



Figura 3.2d Vista superior del baño termostático, se observa la resistencia eléctrica, la bomba sumergible, el depósito de 13lt y las mangueras de circulación de agua en la doble chaqueta del Biorreactor.



Figura 3.3a Bomba sumergible marca *Geoglobal Partners*, utilizada para enviar agua al serpentín desde el baño de enfriamiento.



Figura 3.3b Baño de enfriamiento, incluye nevera de icopor de 43lt, se observa la bomba sumergible, pilas de frío y mangueras de circulación de agua en el serpentín.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL



Figura 3.4a Sensor de pH *Instrumatic*, utilizado para medir el pH de la suspensión dentro del Biorreactor.



Figura 3.4b Transmisor indicador de pH *Intech*, envía 4-20mA al PLC e indica el valor de pH.

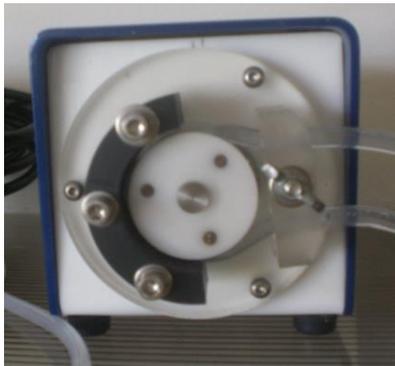


Figura 3.4c Bomba peristáltica *Centricol*, utilizada para dosificar ácido a la suspensión dentro del Biorreactor.



Figura 3.4d Bomba peristáltica *Centricol*, utilizada para dosificar base a la suspensión dentro del Biorreactor.



Figura 3.5a Servomotor y *encoder Delta Electronics Inc*, utilizado para agitar la suspensión dentro del Biorreactor y realimentar la velocidad de agitación, en el rango (0, 300) RPM.



Figura 3.5b Eje del servomotor, el cual tiene 3 aspas planas para agitar la suspensión, las aspas son móviles de acuerdo a la cantidad de suspensión que se vaya a preparar.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL



Figura 3.5c ACServo Variador Delta Electronics Inc, utilizado para regular la potencia del servomotor.



Figura 3.6b Armario de control Centricol, cuenta con una pantalla táctil Delta Electronics y en el costado derecho con conectores para los instrumentos y actuadores e internamente un PLC Siemens.



Figura 3.6a Cable de comunicación siemens de referencia PPI-RS 485/PC-RS 232, utilizado para realizar la comunicación entre el PLC y el PC.



Figura 3.6c Equipo de Monitoreo y supervisión. Este cuenta con un HMI de la empresa Siemens, SIMATIC WinCC Flexible 2007.

Las figuras anteriores describen los elementos de los sistemas de la celda de proceso – Biorreactor, cuyo funcionamiento en detalle se explica en la ingeniería básica.

3.1.3 Variables controladas del proceso de hidrólisis

De acuerdo a la descripción del proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca de la sección 3.1.1 se identifican tres variables controladas: Temperatura, pH y Velocidad de Agitación. A continuación se describe cada una:

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

Temperatura

El comportamiento correcto de la variable temperatura en el proceso de hidrólisis de harina o almidón de yuca es importante, ya que garantiza una temperatura adecuada para la activación y normal desempeño de la enzima BAN 240L. Esta enzima puede trabajar en el rango de 45 a 75 grados centígrados. Sin embargo la temperatura a la cual se trabaja la enzima en el biorreactor está en el rango de 50°C a 55°C, ya que a mayores temperaturas el almidón se gelatiniza quedando inservible. Una vez la suspensión a temperatura ambiente se encuentra en el biorreactor se fija una temperatura deseada TSP1, en el rango de 50°C o 55°C. Esta TSP1 se debe mantener durante el tiempo de hidrólisis, que corresponde al tiempo estimado que la enzima necesita para procesar la cantidad y variedad de harina o almidón. Una vez este tiempo se ha cumplido se debe fijar una segunda temperatura deseada TSP2 de 40°C para permitir manipular la suspensión.

Adicional a los dos valores de temperatura deseados durante el proceso, se debe tener en cuenta otras dos temperaturas: TCaCL2 y Tenzima, que corresponden a las temperaturas idóneas para adicionar el cloruro de calcio y la enzima. La temperatura para la adición del CaCL₂ está en el rango de 46 a 48 grados centígrados y la temperatura para la adición de la enzima esta en el rango de 48 a 53 grados centígrados, esto depende de la variedad que se esté hidrolizando.

La variable temperatura tiene dos zonas de temperatura deseada: zona 1 con SP=TSP1 y zona 2 con SP=TSP2.

pH

El comportamiento correcto de la variable pH en el proceso de hidrólisis de harina o almidón de yuca es importante, ya que garantiza un pH adecuado para la activación y normal desempeño de la enzima BAN 240L. En primer lugar se mide el pH de la suspensión para saber en qué valor se encuentra, este cambia dependiendo de la variedad y lote, este valor puede estar arriba o debajo de 6, por lo que se fija un primer valor de pH deseado pHSP1 de 5,8 o 6,2 dependiendo de si está por abajo o por encima de 6. Esto con el fin de dosificar más rápido base o ácido para alcanzar un valor cercano a un segundo valor de pH deseado pHSP2 de 6.0. Una vez se encuentre el pH en pHSP1 se empieza a realizar una dosificación de ácido o base más lenta para alcanzar el valor de pHSP2 y mantenerlo durante el tiempo de hidrólisis para que la enzima actué sobre la suspensión. Una vez se ha finalizado el tiempo de hidrólisis se procede a bajar el pH a un tercer valor deseado pHSP3 de valor 4.0 para desactivar la enzima, esto se hace dosificando ácido un poco más rápido.

La variable pH tiene tres zonas de pH deseada: zona 1 con SP=pHSP1, zona 2 con SP=pHSP2 y zona 3 con SP=pHSP3.

Velocidad

La velocidad es otra de las variables que se controlan en el proceso de hidrólisis de harina y almidón de yuca, siendo ésta importante ya que constituye una variable clave para asegurar el contacto suficiente entre la suspensión y la enzima y facilitar la transferencia de calor y masa dentro del biorreactor, reduciendo la potencial concentración de producto en ciertos puntos, facilitando un régimen más dinámico de absorción, catálisis, desorción y movimiento a diferentes sitios de enlace en la suspensión y en consecuencia ayudando a incrementar la tasa de reacción y rendimiento de la conversión [3]. Sin embargo, la agitación excesiva puede causar inactivación de la enzima y reducción del rendimiento, debido a la desnaturalización causada por las fuerzas de corte generadas por el agitador y el atrapamiento de burbujas de aire en el fluido [4].

La velocidad de agitación deseada VASP se mantiene constante a lo largo del proceso, en general se emplea un valor de 200 RPM ya que con esta velocidad se encuentra el mejor grado de modificación del almidón [3].

3.1.4 Variables manipuladas del proceso de hidrólisis

En la tabla 3.1 se relacionan las variables manipuladas en el proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca, asociadas a cada una de las variables controladas.

Tabla 3.1 Variables manipuladas del proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca

	Temperatura	pH	Velocidad
Variables Manipuladas	Caudal de agua fría	Caudal de ácido	Potencia del servomotor
	Potencia de resistencia	Caudal de base	

A continuación se describen cada una de las variables manipuladas.

1. El caudal de agua fría proveniente del baño de enfriamiento es inyectado en el serpentín del biorreactor con el fin de bajar o subir la temperatura de la suspensión. Este caudal es manipulado por una bomba de refrigeración al interior del baño de enfriamiento, la bomba se enciende si se requiere bajar la temperatura o la bomba se apaga si se desea subir la temperatura de la suspensión. Este caudal es pulsante. Este caudal regresa al baño de enfriamiento después de circular por el serpentín y recoger energía térmica de la suspensión.
2. La potencia de una resistencia eléctrica al interior del baño termostatado se manipula con el fin de modificar la temperatura de un flujo de agua caliente que continuamente se bombea a la doble chaqueta del Biorreactor desde el baño termostatado. Con ello se busca subir o bajar la temperatura de la

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

suspensión. Una vez el agua circula por la doble chaqueta regresa al baño termostatado. La potencia máxima que se puede disipar en la resistencia eléctrica se fija por medio de una perilla en el baño termostatado.

3. Un caudal de ácido proveniente de un recipiente de ácido es dosificado en el biorreactor, por medio de la activación de la bomba peristáltica de ácido, con el fin de ajustar el pH de la suspensión a un valor deseado. El caudal es aplicado durante un tiempo de dosificación de ácido cada vez que el proceso lo requiera. El caudal de ácido es pulsante.
4. El caudal de base proveniente de un recipiente de base es dosificado el en biorreactor, por medio de la activación de la bomba peristáltica de base, con el fin de ajustar el pH de la suspensión a un valor deseado. El caudal es aplicado durante un tiempo de dosificación de base cada vez que el proceso lo requiera. El caudal de base es pulsante.
5. La potencia del servomotor se manipula con el fin de modificar la velocidad de agitación de la suspensión dentro del biorreactor, dependiendo de la cantidad de materia prima a hidrolizar y las características de la misma se aumenta o disminuye la potencia del servomotor.

3.1.5 Variables de disturbio del proceso de hidrólisis

En la tabla 3.2 se describen las variables de disturbio que afectan a cada una de las variables controladas en el proceso de hidrólisis de harina y almidón de yuca.

Tabla 3.2 Variables de disturbio asociadas a las variables controladas

Variables de disturbio				
Temperatura	Cambio de T° en las pilas de frío.	Mal sello de la tapa.	Mal aislamiento térmico del Biorreactor.	Cambios en la temperatura ambiente.
	Fluctuaciones en la energía que consume la resistencia.	Mal sello de la tapa.	Mal aislamiento térmico del Biorreactor.	Cambios en la temperatura ambiente.
pH	Cambios en la concentración de ácido y base.	Volumen de ácido y base.	Adición de reactivos.	Cambios de pH en la suspensión por aumento de temperatura.
Velocidad Agitación	Viscosidad de la suspensión.		Caída de potencia en el variador	

Para la clasificación de las variables disturbio se emplea tres clases: no existente, no crítico y crítico. La primera significa que el disturbio no existe, la segunda que

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

existe pero que se puede corregir cuando se manifieste en la variable de proceso y la última que el disturbio no se puede propagar en el proceso.

Para la variable controlada temperatura los disturbios que se presentan se clasifican a continuación:

- Cambios de T^0 en las pilas de frío: Esta variable de disturbio se considera No crítica.
- Mal sello de la tapa: Esta variable de disturbio se considera No crítica.
- Mal aislamiento térmico del biorreactor: Esta variable de disturbio se considera No crítica.
- Cambios en la temperatura ambiente: Esta variable de disturbio se considera No crítica.
- Fluctuaciones en la energía que consume la resistencia: Esta variable de disturbio se considera No existente.

Para la variable controlada pH los disturbios que se presentan se clasifican a continuación:

- Cambios en la concentración de ácido y base: Esta variable de disturbio se considera No existente.
- Volumen de ácido y base: Esta variable de disturbio se considera No crítica.
- Adición de reactivos: Esta variable de disturbio se considera No crítica.
- Cambios de pH en la suspensión por aumento de temperatura: Esta variable de disturbio se considera No crítica.

Para la variable controlada Velocidad de Agitación los disturbios que se presentan se describen a continuación:

- Viscosidad de la suspensión: Esta variable de disturbio se considera No crítica.
- Caída de potencia en el variador: Esta variable de disturbio se considera No existente.

La anterior identificación y clasificación de variables de disturbio se debe realizar por parte del ingeniero experto en el proceso, en este caso la identificación de las mismas y su clasificación se realiza a partir de la experiencia adquirida en la presente monografía en la reingeniería llevada a cabo de la automatización del biorreactor de la empresa Centricol.

3.1.6 Esquemas de control del proceso de hidrólisis

En el control de las variables de proceso relacionadas con el proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca se identifican cuatro lazos de control: Dos de temperatura que compartirían el único elemento primario de medición, el de pH que emplea dos actuadores y el de velocidad de agitación.

De acuerdo a la clasificación de las variables de disturbio para la Temperatura, realizado previamente, se recomienda un esquema de control *feedback*, para los dos lazos, esto debido a que las variables de disturbio se clasifican como No críticas, lo que significa que se pueden propagar por el proceso y se atienden una vez perturban la variable de proceso. Los dos lazos de control realimentado de temperatura corresponden al sistema de calentamiento basado en el baño termostataado y al sistema de enfriamiento basado en el baño de enfriamiento, que de acuerdo a la reingeniería realizada son independientes.

De acuerdo a la clasificación de las variables de disturbio para la variable de proceso pH, realizado previamente, se recomienda un esquema de control *feedback*, esto debido a que las variables de disturbio se clasifican como No existentes y No críticas, lo que significa, en el caso de las No críticas, que se pueden propagar por el proceso y se atienden una vez perturban la variable de proceso.

De acuerdo a la clasificación de las variables de disturbio de la variable velocidad de agitación, realizado previamente, se recomienda un esquema de control *feedback* debido a que las dos variables de disturbio se clasifican: una como No existente y la otra como No crítica.

Por lo tanto en cada uno de los cuatro lazos de control del proceso de hidrólisis de harina/almidón se usan esquemas de control realimentados.

3.1.7 Escenario de automatización del proceso de hidrólisis

El escenario de automatización utilizado en la implementación de los cuatro esquemas de control identificados en el biorreactor de la empresa Centricol está basado en controlador lógico programable (PLC). Todos los lazos con monitoreo y supervisión tanto local como remoto. Local por medio de una pantalla táctil y remota por medio de un SCADA en un computador personal.

El control del biorreactor es realizado a través de un PLC S7-200 con CPU 224 XP de la marca Siemens, el cual se programa mediante el uso del *software STEP 7-Micro/WIN* de *Siemens Energy & Automation, Inc.* V4.0.2.29. En él se programan los algoritmos que permiten llevar a cabo el control de los lazos establecidos para el proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

El escenario de automatización para el esquema de control del lazo realimentado de Temperatura emplea un PLC Siemens S7-200 y utiliza dos subsistemas: un sistema de control de calentamiento y un sistema de control de enfriamiento.

El lazo de control de calentamiento está constituido por; un sensor de temperatura Pt-100, un transmisor de temperatura ciego D-76181 de Siemens de 4 a 20 mA y un baño termostatado Centricol. Este último consta de un depósito de agua caliente, una bomba sumergible, una resistencia eléctrica y una perilla de regulación de la potencia máxima en la resistencia. El algoritmo de control de calentamiento reside en el PLC Siemens e implementa una ley de control de dos posiciones para manipular el encendido de la resistencia eléctrica.

El lazo de control de enfriamiento está constituido por; un sensor de temperatura Pt-100, un transmisor de temperatura ciego D-76181 de Siemens de 4 a 20 mA y un baño de enfriamiento de diseño propio. Este último consta de un depósito de agua, una bomba de refrigeración y varias pilas de frío. En el PLC Siemens se encuentra una ley de control de dos posiciones, que gobierna la activación o desactivación de la bomba sumergible.

El escenario de automatización para el esquema de control de lazo realimentado del pH está basado en el mismo PLC Siemens S7-200, y emplea los siguientes instrumentos: un sensor de pH, un transmisor de pH de 4 a 20 mA, una bomba peristáltica de ácido y una bomba peristáltica de base. En el PLC Siemens se encuentra un algoritmo de control de pH de diseño propio, encargado de mantener el pH en un valor deseado por el experto para el proceso, activando la bomba peristáltica de ácido o la bomba peristáltica de base, durante ciertos tiempos de dosificación, según lo requiera el proceso.

El escenario de automatización para el esquema de control del lazo realimentado de Velocidad de agitación, igualmente está basado en el PLC Siemens S7-200 y cuenta con los siguientes instrumentos, un servomotor (moto reductor mas *encoder*) referencia ASMT01L250AK *Delta Electronics*, un variador de velocidad ASD-A0121LA *Delta Electronics* y un sistema de agitación constituido por un eje con tres paletas de cara plana. En el PLC se encuentra el algoritmo de control que se encarga de gobernar la potencia aplicada al servomotor.

Para monitorear y supervisar el comportamiento de los cuatro lazos de control realimentados, el biorreactor cuenta con dos sistemas HMI. El principal de la empresa Siemens, soportado en el *software* WinCC flexible 2007, instalado en un equipo de cómputo genérico y el otro en una pantalla táctil PTS-101 *Delta Electronics*, con un *software* de programación libre que se denomina ScrEdit 2.00.17. En ambos sistemas las interfaces diseñadas por la empresa Centricol fueron modificadas en la presente monografía.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

Comunicación PLC/ pantalla táctil

La comunicación de la pantalla con el PLC se realiza empleando el protocolo e interfaz RS-485, empleando un cable serial por el COM1 y una velocidad de transferencia de 9600 kbits/s.

Comunicación PLC/ PC

Para establecer la comunicación entre el PLC y el PC, se hace uso del protocolo PPI (*point to point interface*) propiedad de Siemens, una interfaz RS 232 empleando un cable conversor PC/PPI por el COM1 y una velocidad de transferencia de 19200 kbits/s.

3.1.8 Listado de equipos, instrumentos y accesorios

En la tabla 3.3 se listan todos los equipos, instrumentos y accesorios que hacen parte del proceso de hidrólisis de almidón y harina de yuca.

Tabla 3.3 Lista de equipos, instrumentos y accesorios del proceso de hidrólisis de harina y almidón de yuca.

Nombre del instrumento, equipo ó accesorio	Imagen	Referencia	Fabricante
EQUIPOS			
Biorreactor		Genérica	Centricol
Biorreactor en acero inoxidable de 5Lts con doble chaqueta por donde circula agua caliente. Marca Centricol.			
Tapa Biorreactor		Genérica	Centricol
Tapa del biorreactor de 5Lts, se observa el servomotor <i>Delta Electronics Inc</i> y el manómetro <i>HI-Tech</i> , igualmente los puertos de las mangueras del serpentín, de las bombas peristálticas y de los sensores de pH y Temperatura.			

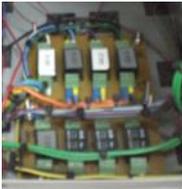
SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

PC		Genérico	Genérico
<p>Equipo de Monitoreo y supervisión. Este cuenta con un HMI de la empresa <i>Siemens</i>, <i>SIMATIC WinCC Flexible 2007</i>.</p>			
Armario		Genérico	Centricol
<p>Armario de control Centricol, cuenta en la parte superior con una pantalla táctil <i>Delta Electronics</i>, en el costado derecho con los conectores para los instrumentos y actuadores e internamente un PLC Siemens.</p>			
Pantalla Táctil		DOP-B07S200	Delta Electronics Inc.
<p>La pantalla táctil cuenta con un HMI de la empresa <i>Siemens</i>, <i>SIMATIC WinCC Flexible 2007</i>.</p>			
PLC		S7-200	Siemens
<p>El PLC es Siemens con CPU 224Xp, se utiliza para realizar los algoritmos de control que van a controlar las variables de proceso.</p>			
INSTRUMENTOS			
Serpentín		Genérico	Centricol
<p>El serpentín está fabricado en acero inoxidable y se utiliza para enfriar la suspensión dentro del biorreactor.</p>			
Agitador		Genérico	Centricol
<p>Eje del servomotor, el cual tiene 3 aspas para agitar la suspensión, las aspas son movibles de acuerdo a la cantidad de suspensión que se vaya a preparar.</p>			

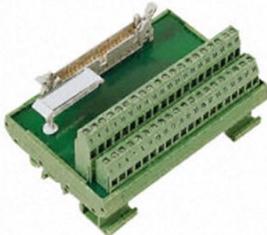
SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

<p align="center">Baño termostático</p> <p>Baño termostático Centricol, cuenta con un depósito de agua, una bomba sumergible, una resistencia y una perilla de configuración de potencia para la resistencia.</p>		<p>Genérico</p>	<p>Centricol</p>
<p align="center">Resistencia del baño termostático</p> <p>La resistencia dentro del baño termostático es el elemento final de control para el sistema de control de calentamiento.</p>		<p>Genérico</p>	<p>Centricol</p>
<p align="center">Baño De Enfriamiento</p> <p>El baño de enfriamiento consta de una Nevera de icopor con capacidad de 43 Lts, una bomba sumergible, unas pilas de frio y las mangueras de circulación de agua en el serpentín.</p>		<p>Genérico</p>	<p>Unicauca</p>
<p align="center">Bomba sumergible</p> <p>La bomba sumergible es el elemento final de control para el sistema de control de enfriamiento.</p>		<p>FP500</p>	<p>Geoglobal Partners</p>
<p align="center">Bomba Peristáltica ácido y base</p> <p>Las bombas peristálticas de ácido y base son el elemento final de control para el control de pH.</p>		<p>Genérico</p>	<p>Centricol</p>
<p align="center">Sensor de pH</p> <p>Sensor de pH de la empresa <i>Instrumatic</i>, utilizado para medir el pH de la suspensión dentro del Biorreactor.</p>		<p>Modelo 10</p>	<p>Instrumatic</p>
<p align="center">Transmisor indicador de pH</p> <p>Transmisor indicador de pH de la empresa <i>Intech</i>, envía 4-20mA al PLC e indica el valor de pH.</p>		<p>LPI- pH</p>	<p>Intech</p>

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

<p>Sensor de temperatura</p> <p>El sensor de temperatura está constituido por un pozuco con Pt-100, utilizada para medir la temperatura de la suspensión dentro del Biorreactor.</p>		PT-100	Centricol
<p>Transmisor Pt-100</p> <p>Transmisor de temperatura marca Siemens envía 4-20mA al PLC.</p>		D-76181	Siemens
<p>Servomotor</p> <p>El servomotor marca Delta Electronics.Inc, se utiliza para agitar la suspensión dentro del biorreactor.</p>		ASMT01 L250AK	Delta Electronics Inc.
<p>Manómetro</p> <p>El manómetro se utiliza para medir la presión dentro del biorreactor.</p>		0- 3 0 p si	<i>HI-Tech</i>
<p>Variador de velocidad</p> <p>ACServo Variador marca Delta Electronics Inc, utilizado para regular la potencia del servomotor.</p>		ASD- A0121LA	Delta Electronics Inc.
<p>Cable de Comunicación</p> <p>Cable de comunicación marca siemens de referencia PPI-RS 485/PC-RS 232, utilizado para realizar la comunicación entre el plc y el pc.</p>		PPI/PC	Siemens
ACCESORIOS			
<p>Tarjeta de relés</p> <p>La tarjeta de relés recibe un voltaje del PLC para activar mediante un relé los elementos finales de control.</p>		Genérico	Centricol
<p>Tarjeta convertidor de AC/DC</p> <p>Tarjeta para convertir el voltaje de 110Vac-24Vdc, para alimentar al PLC.</p>		Genérico	Centricol

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

<p>Tarjeta de expansión para el variador de velocidad</p>		<p>Genérico</p>	<p>Centricol</p>
<p>La tarjeta de expansión se utiliza para facilitar comunicar el variador de velocidad con el PLC</p>		<p>KD1212 PTB1-6A</p>	<p><i>Sunon</i></p>
<p>Ventilador</p>		<p>Genérico</p>	
<p>Se tienen 2 ventiladores utilizados para refrigerar el armario de control.</p>		<p>AKB1-63</p>	<p><i>Yuanky</i></p>
<p>Toma corriente</p>		<p>Válvula de 1 pulgada</p>	<p>Genérico</p>
<p>El toma corriente se utiliza para alimentar los equipos de cómputo.</p>		<p>Racor de ¼ de pulgada</p>	<p>Genérico</p>
<p>Breaker</p>		<p>Racor de ¼ de pulgada</p>	<p>Genérico</p>
<p>El <i>breaker</i> se utiliza para aplicar la potencia al armario de control.</p>			
<p>Válvulas De Bola Manual</p>			
<p>La válvula de bola es de 1 pulgada y está en la parte inferior del biorreactor para el desfogue de la suspensión.</p>			
<p>Puertos Serpentín</p>			
<p>Los puertos del serpentín tienen un racor de ¼ de pulgada, para asegurar la entrada o salida del serpentín.</p>			
<p>Puerto del sensor de temperatura</p>			
<p>El puerto del sensor de temperatura tiene un racor de ¼ de pulgada, para asegurar el pozuelo de la Pt100.</p>			

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

<p>Puerto de dosificación de ácido y base</p>		<p>Racor de ¼ de pulgada</p>	<p>Centricol</p>
<p>Al puerto de dosificación de ácido y base se conecta un racor de ¼ de pulgada.</p>			
<p>Puerto Servomotor</p>		<p>Genérico</p>	<p>Centricol</p>
<p>Al puerto del servomotor está conectado el reductor de velocidad con el servomotor.</p>			
<p>Puerto manómetro</p>		<p>Racor de ½ de pulgada</p>	<p>Centricol</p>
<p>El puerto del manómetro tiene un racor de ½ pulgada donde se asegura el manómetro.</p>			
<p>Tubería para la descarga del Biorreactor</p>		<p>Genérico</p>	<p>Centricol</p>
<p>La tubería es de 1 pulgada y está conectada al biorreactor para vaciar la suspensión.</p>			
<p>Mangueras siliconada para la salida y entrada del baño termostático</p>		<p>Manguera de ¼ de pulgada</p>	<p>Genérico</p>
<p>Las mangueras siliconada son de ¼ de pulgada, se conectan a la chaqueta del biorreactor para hacer circular agua caliente.</p>			
<p>Manguera siliconada para la salida y entrada del baño de enfriamiento.</p>		<p>Manguera de ¼ de pulgada</p>	<p>Genérico</p>
<p>Las mangueras siliconada son de ¼ de pulgada, se conectan al serpentín del biorreactor para hacer circular agua fría.</p>			
<p>Mangueras siliconadas para la salida y entrada de las Bombas peristálticas.</p>		<p>Manguera de 1/8 de pulgada</p>	<p>Genérico</p>
<p>Las mangueras siliconada son de 1/8 de pulgada, se conectan a la tapa del biorreactor para dosificar ácido o base.</p>			

3.2 Ingeniería básica

La Ingeniería Básica del proceso de hidrólisis es una profundización del análisis realizado en la ingeniería conceptual previa cuyo resultado son los datos de entrada para esta etapa del diseño [1].

Algunos de los avances que se logran en la ingeniería básica son los siguientes:

- Etiquetamiento de los equipos, instrumentos y accesorios que hacen parte del proceso de hidrólisis.
- Realización del diagrama de flujo del proceso de hidrólisis.
- Elaboración del diagrama P&ID del proceso de hidrólisis.
- Elaboración de los diagramas sama del proceso de hidrólisis.

3.2.1 Etiquetado de equipos, instrumentos y accesorios

En la tabla 3.4 se observa los diferentes equipos, instrumentos y accesorios con su debido etiquetado de acuerdo a la norma ISA S5.1, para el proceso de hidrólisis de harina y almidón de yuca.

Nombre de la planta: Celda de proceso del laboratorio de biotecnología, código 1.

Nombre del área: Unidad de hidrolizado, código 1.

Sección: 0.

Como el área es muy pequeña no requiere ser subdividida en secciones por lo tanto el código asignado al carácter sección es 0.

Tabla 3.4 Etiquetado de equipos, instrumentos y accesorios.

Nombre	Etiquetado
Equipos	
Biorreactor	R-101
Tapa Biorreactor	T-101
PC	PC-101
Armario	AR-101
Pantalla Táctil	PTS-101
PLC	PLC-101
Instrumentos	
Manómetro	PI-101
Serpentín	S-101
Baño termostático	E-101
Resistencia del BT	RB-101
Sensor de temperatura pt-100	TE-101
Transmisor Pt-100	TT-101

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

Baño de enfriamiento	E-102
Bomba sumergible	PP-102
Sensor de pH	PHE-103
Transmisor indicador de pH	PHIT-103
Bomba Peristáltica ácido	PP-A103
Bomba Peristáltica base	PP-B103
Servomotor	M-104
Variador de velocidad	SV-104
Agitador	AG-104
Válvulas De Bola Manual	MV-101
Cable de Comunicación	CC-101
Accesorios	
Tarjeta de relés	RT-101
Tarjeta de expansión	ET-101
Relé electromagnético Servomotor	Q-100
Relé electromagnético Bomba Base	Q-101
Relé electromagnético Bomba Ácido	Q-102
Relé electromagnético Bomba De Refrigeración	Q-103
Relé electromagnético Resistencia Baño Termostático	Q-104
Tarjeta convertidor de AC/DC	ADT-102
Ventilador	V-101
Toma corriente	TC-101
Breaker	B-101
Puerto Serpentin	P-101
Puerto del sensor de T°	P-102
Puerto Servomotor	P-103
Puerto manómetro	P-104
Puerto de dosificación de base	P-105
Puerto de dosificación de acido	P-106
Tubería de ¾ de pulgada para la descarga del Biorreactor	PI-1
Mangueras siliconada de ¼ de pulgada para el baño termostático	PI-2,PI-3
Mangueras siliconada de ¼ de pulgada para la bomba de refrigeración.	PI-4, PI-5
Mangueras siliconada de 1/8 de pulgada para las Bombas peristálticas.	PI-6,PI-7
Manguera de ¼ de pulgada con su respectivo acople para el llenado del baño de enfriamiento E-102.	PI-8

3.2.2 Diagrama de flujo del proceso de hidrolisis

En la figura 3.7 se describe el diagrama de flujo de proceso de hidrólisis de harina/almidón para un biorreactor de 5 lts, en el se muestran las tuberías, mangueras, válvulas y los diferentes equipos conectados al biorreactor. En la figura 3.7 se observa los siguientes ítems:

Baño Termostatado E-101, constituido por una bomba sumergible, una resistencia RB-101 y un depósito de agua. Una vez se enciende el baño termostatado por un operario, la bomba sumergible dentro del baño termostatado empieza a hacer circular agua continuamente por la chaqueta del biorreactor R-101, el agua es calentada por la resistencia RB-101, la potencia a la cual se va a encender la resistencia es configurada en forma manual por un operario en una perilla externa del baño termostatado.

Baño de enfriamiento E-102, constituido por un depósito de agua, pilas de frio y una bomba sumergible. El baño de enfriamiento E-102, contiene agua a temperatura de 19°C, debido a las pilas que se depositan dentro. El agua se hace circular por el serpentín de la tapa del biorreactor a través de la bomba sumergible PP-102 que está dentro del baño de enfriamiento, con el fin de enfriar la suspensión dentro del Biorreactor.

Sistema de Agitación, constituido por un servomotor SE-104 y un agitador AG-104, compuesto por un eje y aspas. Utilizado para agitar la suspensión dentro del biorreactor a una velocidad constante de 200 RPM.

Bombas Peristálticas PP-A103 y PP-B103, encargadas de dosificar ácido o base a la suspensión dentro del Biorreactor según sea la necesidad.

Válvula de Bola MV-101 utilizada para desalojar la suspensión cuando ya ha terminado el proceso de hidrólisis.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

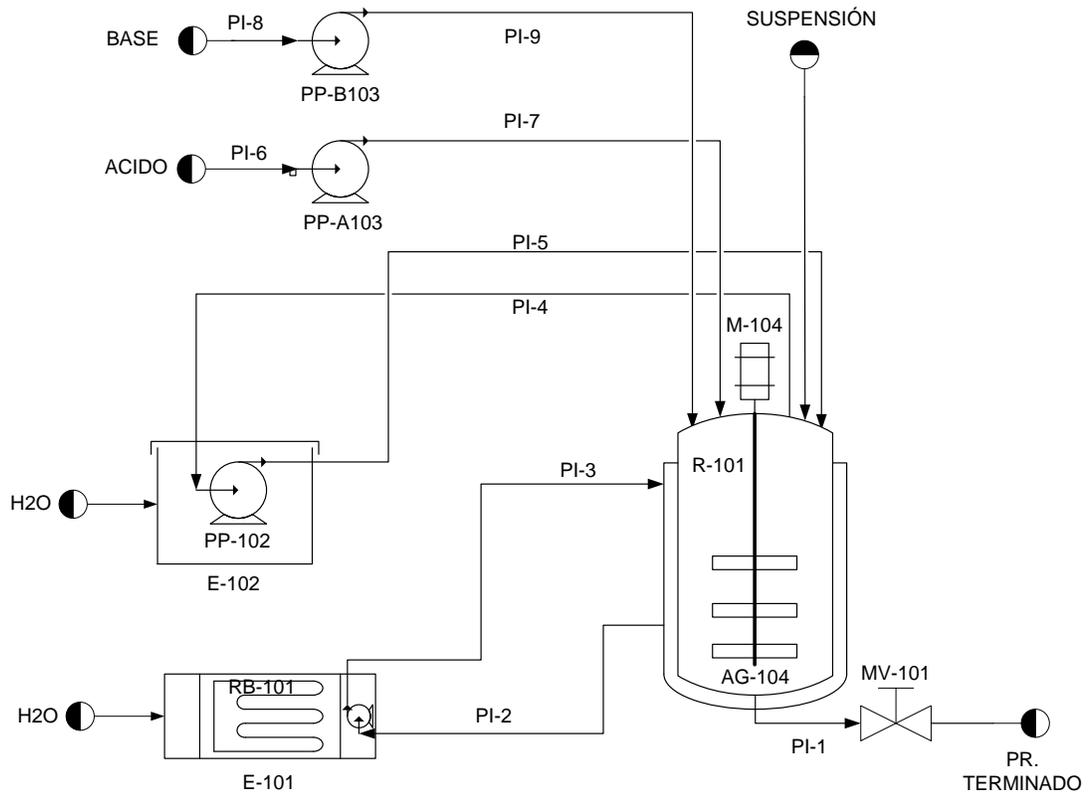


Figura 3.7 Diagrama de flujo del proceso hidrólisis. Fuente propia.

En la figura 3.8 se describe el diagrama de flujo con el camino que sigue el proceso de hidrólisis de harina/almidón para un biorreactor de 5 lts.

1. La suspensión se deposita en el biorreactor
2. El servomotor M-104 empieza a girar y el sistema de agitación AG-104 conectado a través de un eje, revuelve la suspensión dentro del biorreactor R-101.
3. Se enciende el baño termostataado E-101 y la bomba sumergible empieza a enviar agua calentada por la resistencia RB-101 a través de la manguera PI-101 hacia la chaqueta del biorreactor R-101, esta es devuelta al baño termostataado E-101 por la manguera PI-2.
4. La bomba sumergible PP-102 ubicada dentro del baño de enfriamiento E-102, empieza a enviar agua fría al serpentín por la manguera PI-5 y ésta retorna al baño de enfriamiento por la manguera PI-4.
5. La bomba de ácido PP-A103 absorbe ácido de un recipiente a través de la manguera PI-6 y lo dosifica al biorreactor por la manguera PI-7.
6. La bomba de base PP-A103 absorbe base de un recipiente a través de la manguera PI-8 y lo dosifica al biorreactor por la manguera PI-9.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

7. Para descargar el biorreactor R-101, se abre la válvula de bola manual MV-101 y la suspensión dentro del biorreactor empieza a salir.

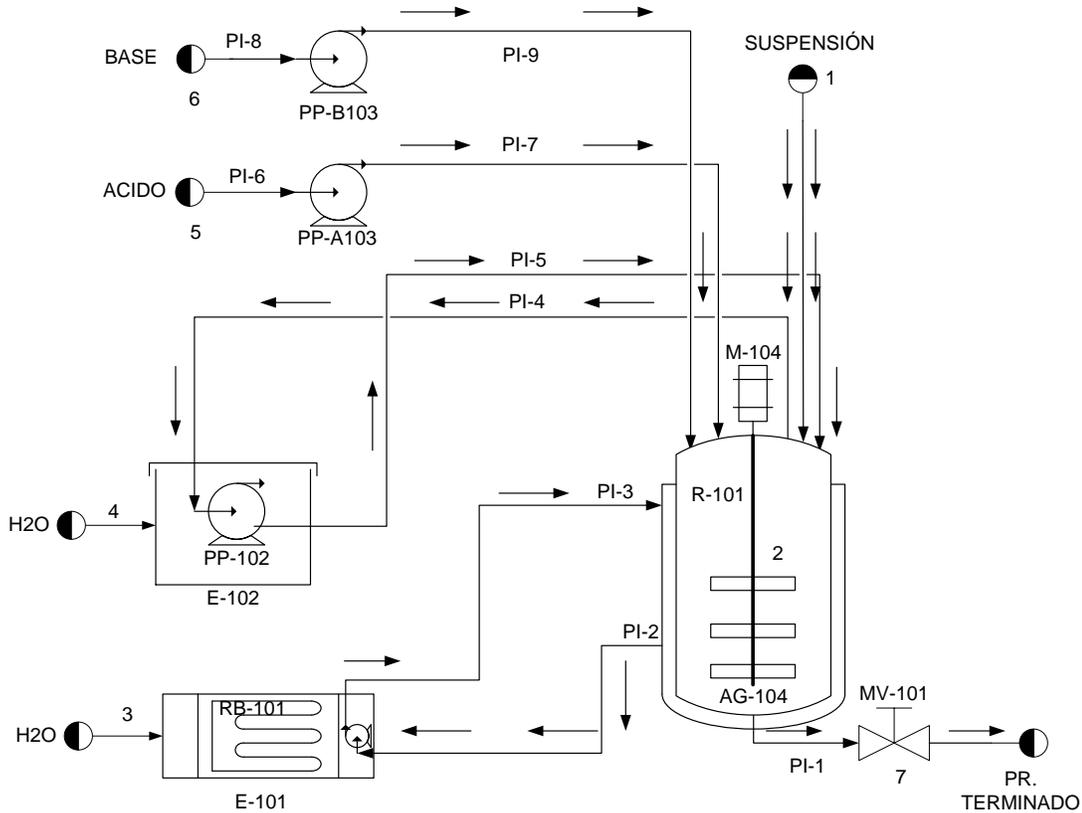


Figura 3.8 Diagrama de flujo del proceso de hidrólisis. Fuente propia.

3.2.3 P&IDs de los lazos de control

Temperatura

En la figura 3.9 se muestra el lazo *feedback* del control de temperatura del sistema de calentamiento en el proceso de hidrólisis de almidón y harina de yuca.

El control de temperatura del sistema de calentamiento se hace a través de los siguientes equipos: un sensor de temperatura Pt-100, un transmisor de temperatura ciego, el programa de control en el PLC y un baño termostatado el cual tiene: un depósito de agua, una resistencia, una bomba sumergible y una perilla para fijar la potencia de la resistencia.

El lazo de temperatura funciona de la siguiente manera: se fija en la perilla del baño termostatado la potencia a la cual se quiere calentar el agua, se enciende el baño termostatado y la bomba sumergible empieza a hacer circular agua

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

constantemente a través de la manguera PI-3 que está conectada al puerto superior de la chaqueta del biorreactor y esta retorna al baño termostatado por la manguera PI-2 conectada al puerto inferior de la chaqueta. El sensor Pt-100 mide la temperatura de la suspensión y el transmisor de temperatura envía una señal de 4 a 20mA al PLC proporcional al valor medido. El control de temperatura TC-101 programado en el PLC se encarga de encender o apagar la resistencia dentro del baño termostatado para que el agua se caliente y mantenga la suspensión en el SP fijado por el operario. Una vez alcanzado el SP, el control de temperatura mantiene ese valor durante el tiempo de hidrólisis.

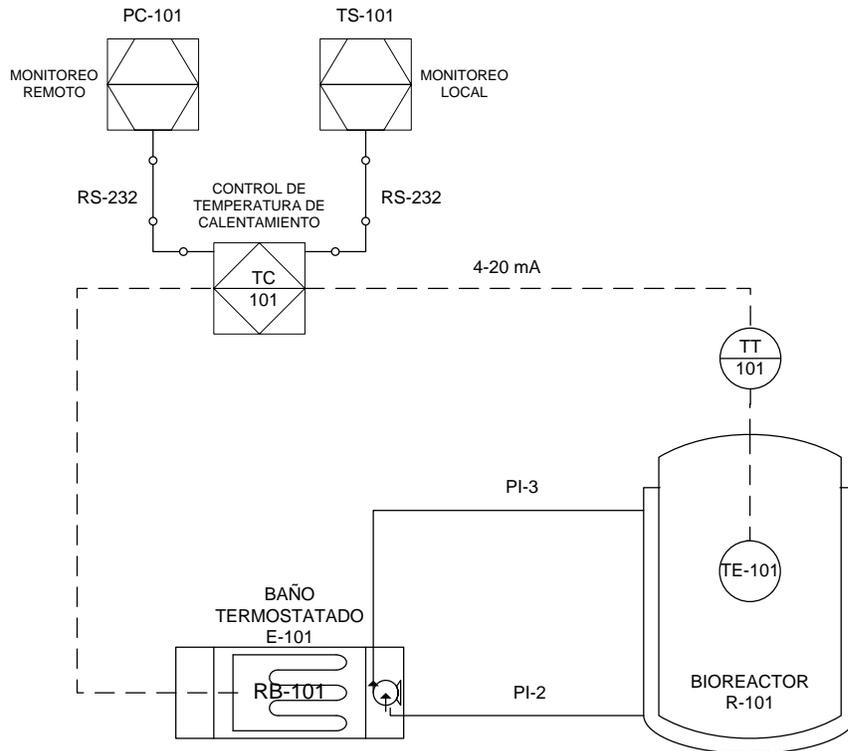


Figura 3.9. Lazo del control de temperatura del sistema de calentamiento para el proceso de hidrólisis. Fuente propia.

En la figura 3.10 se muestra el lazo *feedback* del control de temperatura del sistema de enfriamiento en el proceso de hidrólisis de almidón y harina de yuca.

El control de temperatura del sistema de enfriamiento se hace a través de los siguientes equipos: un sensor de temperatura llamado Pt-100, un transmisor de temperatura ciego, el programa de control en el PLC y un baño de enfriamiento que consta de un depósito de agua, pilas de frío y una bomba sumergible.

El lazo de control del sistema de enfriamiento funciona de la siguiente manera: el sensor Pt-100 mide la temperatura de la suspensión y el transmisor de

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

temperatura envía una señal de 4 a 20mA al PLC proporcional a la medición. El control de temperatura TC-102 programado en el PLC-101, se encarga de encender o apagar la bomba sumergible dentro del baño de enfriamiento, para que circule agua fría a través de la manguera PI-5 conectada a un puerto del serpentín del biorreactor y retorne al baño de enfriamiento por la manguera PI-4 conectada al otro puerto del serpentín. Esto con el fin de mantener la suspensión en el valor deseado por el operario. Una vez alcanzado el SP, el control de temperatura de enfriamiento mantiene ese valor durante el tiempo requerido.

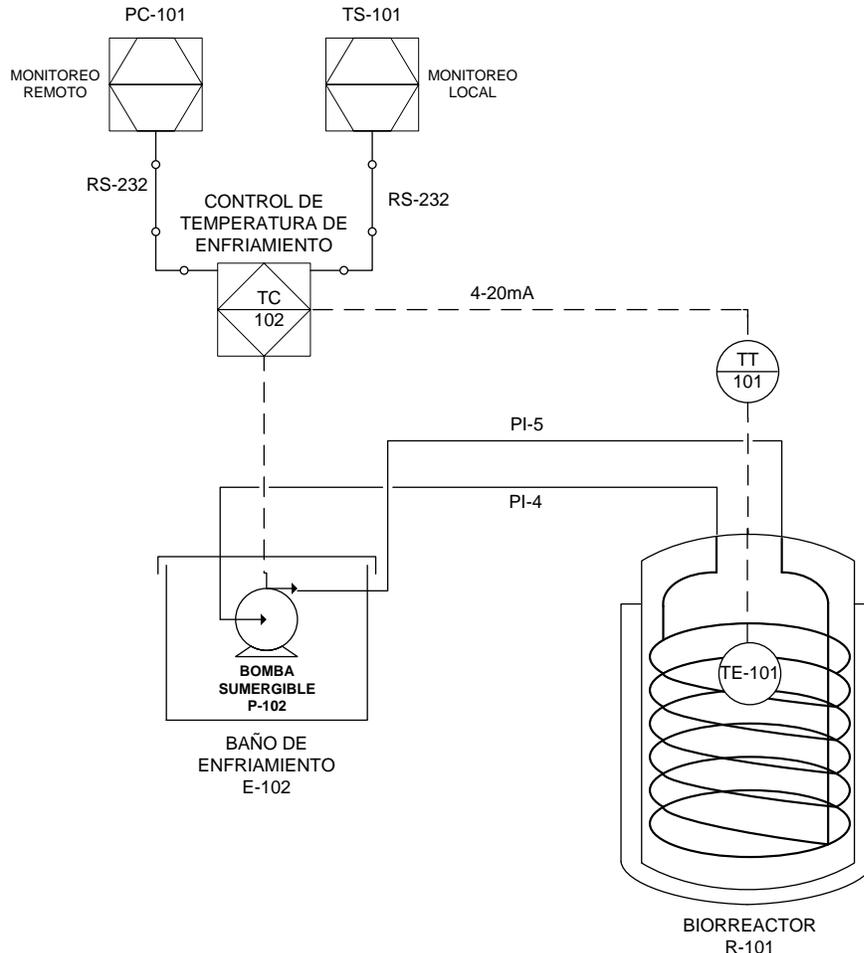


Figura 3.10 Lazo del control de temperatura del sistema de enfriamiento para el proceso de hidrólisis. Fuente propia.

pH

En la figura 3.11 se muestra el lazo de control *feedback* de pH en el proceso de hidrólisis de almidón y harina de yuca.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

El lazo de pH está compuesto por: un sensor de pH, un transmisor indicador de pH, bombas peristálticas de Ácido y Base y el control de pH en el PLC. El lazo de pH funciona de la siguiente manera, el sensor mide el pH de la suspensión y el transmisor indicador de pH envía una señal de 4 a 20 mA al PLC, para que éste a su vez compare el valor medido con el valor deseado digitado y se realice el control pH-103 para activar la bomba peristáltica que dosifica ácido o la bomba peristáltica que dosifica base, según requiera el proceso.

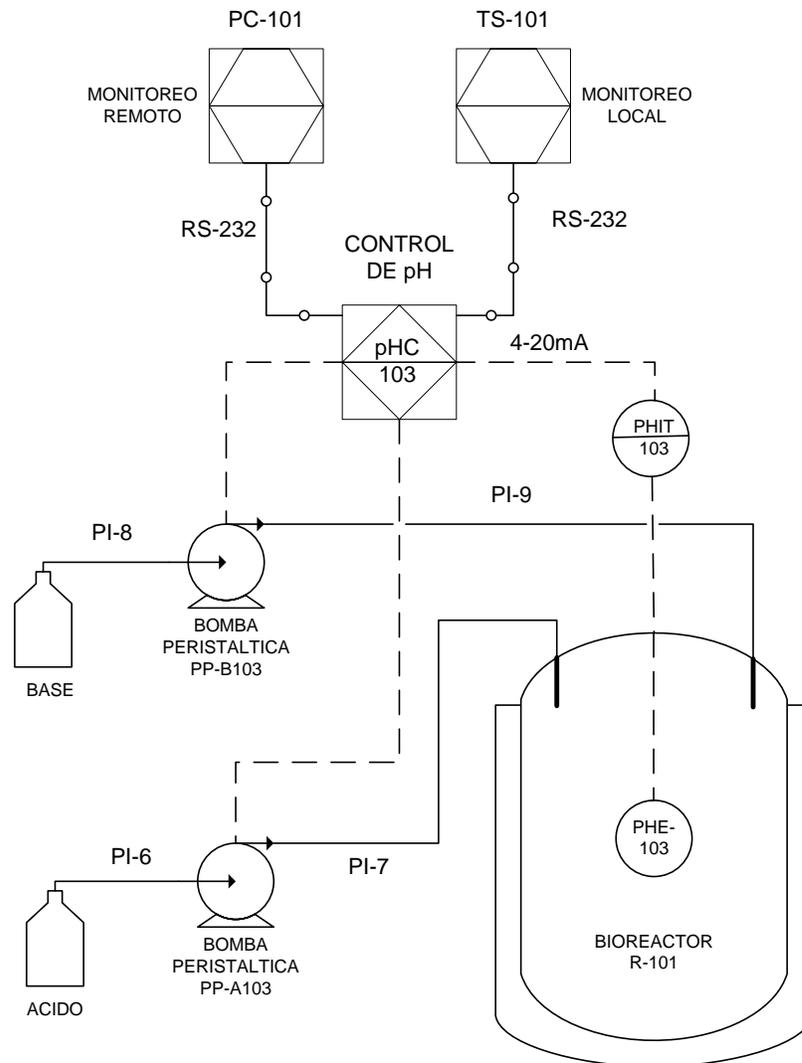


Figura 3.11 Lazo del control del pH del proceso de hidrólisis. Fuente propia.

Velocidad

En la figura 3.12 se muestra el lazo de control *feedback* de la velocidad en el proceso de hidrólisis de almidón y harina de yuca.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

El lazo de velocidad está compuesto por: un servomotor, un variador de velocidad un sistema de agitación (eje con aspas) y un monitoreo en el PLC.

El lazo de velocidad funciona de la siguiente manera. El sensor de velocidad SE-104 mide el valor de velocidad del proceso y lo pasa al PLC-101, para que este a su vez compare el valor medido con el valor deseado digitado y se realice el control SC-104 para mantener el servomotor en la velocidad deseada.

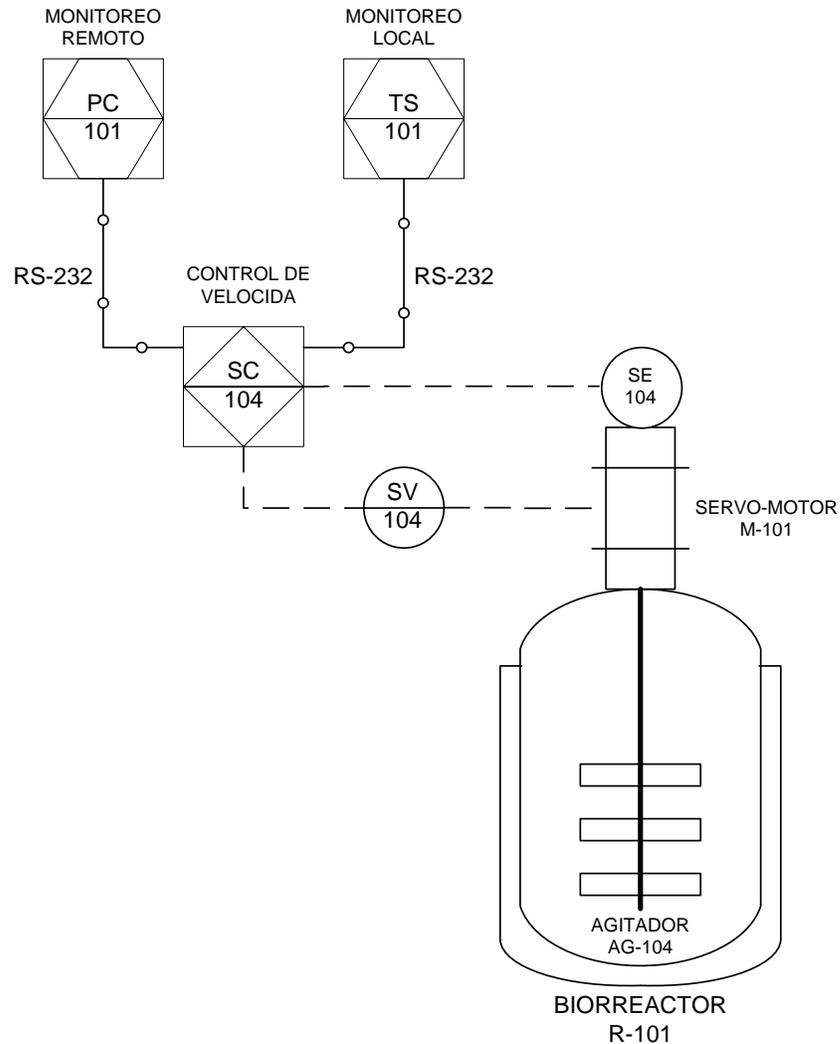


Figura 3.12 Lazo del control de la velocidad del proceso de hidrólisis. Fuente propia.

3.2.4 Diagrama P&ID general del proceso de hidrólisis

La figura 3.13 corresponde al diagrama P&ID de los cuatro lazos de control del proceso de hidrólisis en el Biorreactor de 5 lts.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

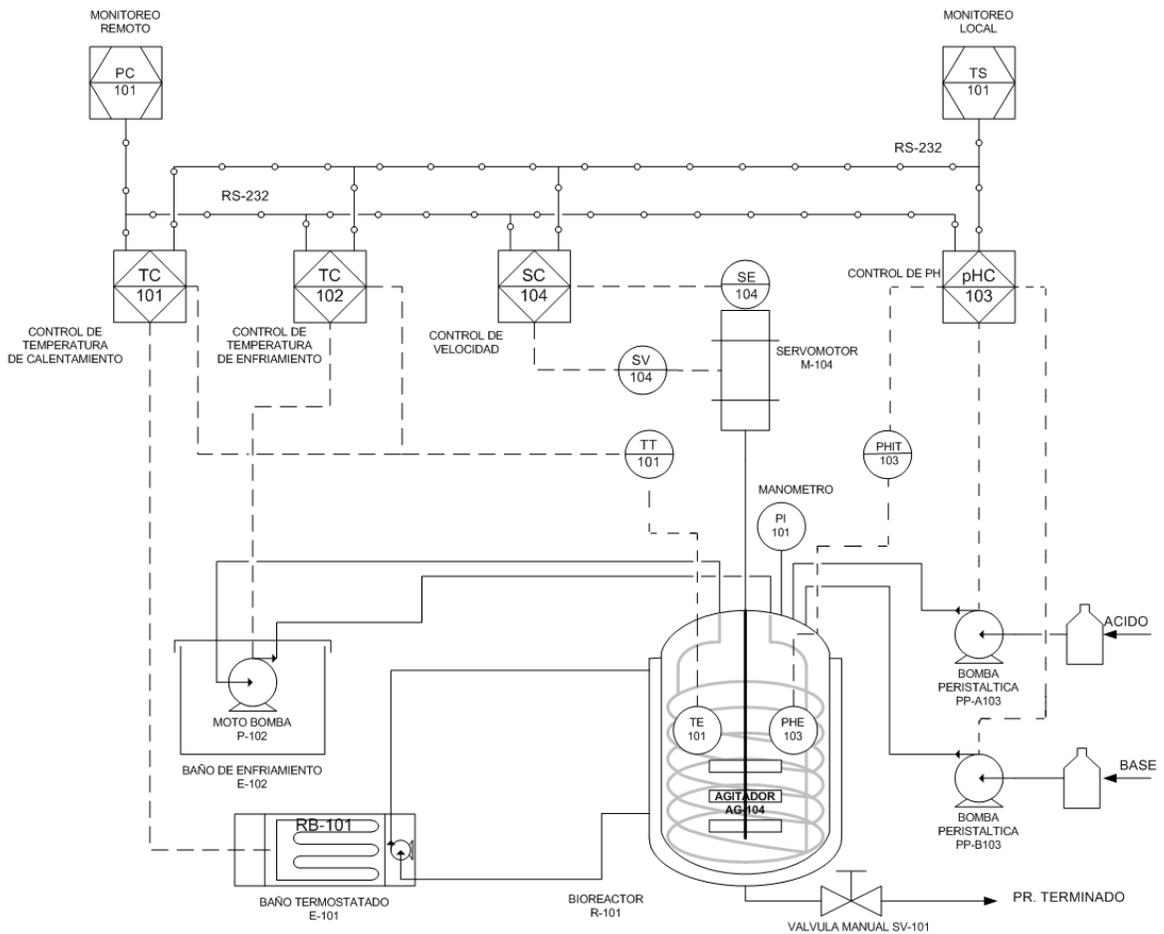


Figura 3.13 Diagrama P&ID general del proceso de hidrólisis. Fuente propia.

3.2.5 Diagramas sama del proceso de hidrólisis

Diagrama sama del control de temperatura de calentamiento

En la figura 3.14 se muestra el diagrama sama del lazo de control de temperatura de calentamiento en el biorreactor de 5lts, que corresponde a la norma desarrollada por la asociación científica de fabricantes de aparatos (sama, por sus siglas en inglés).

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

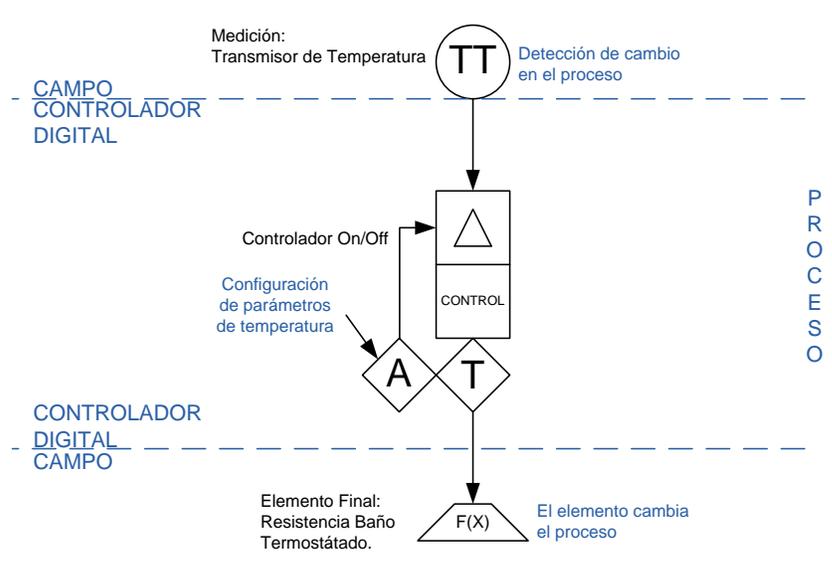


Figura 3.14 Diagrama sasma del control de temperatura de calentamiento en el proceso de hidrólisis. Fuente propia.

Diagramas sasma del control de temperatura de enfriamiento

En la figura 3.15 se muestra el diagrama sasma del lazo de control de temperatura de enfriamiento en el biorreactor de 5lts.

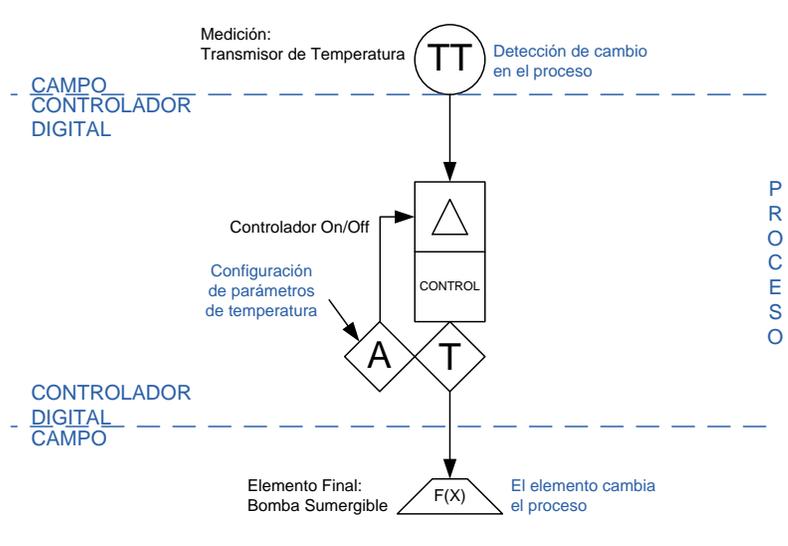


Figura 3.15 Diagrama sasma del control de temperatura de enfriamiento en el proceso de hidrólisis. Fuente propia.

Diagrama sasma de pH para el proceso de hidrólisis

En la figura 3.16 se muestra el diagrama sasma del lazo de control de pH en el biorreactor de 5lts.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

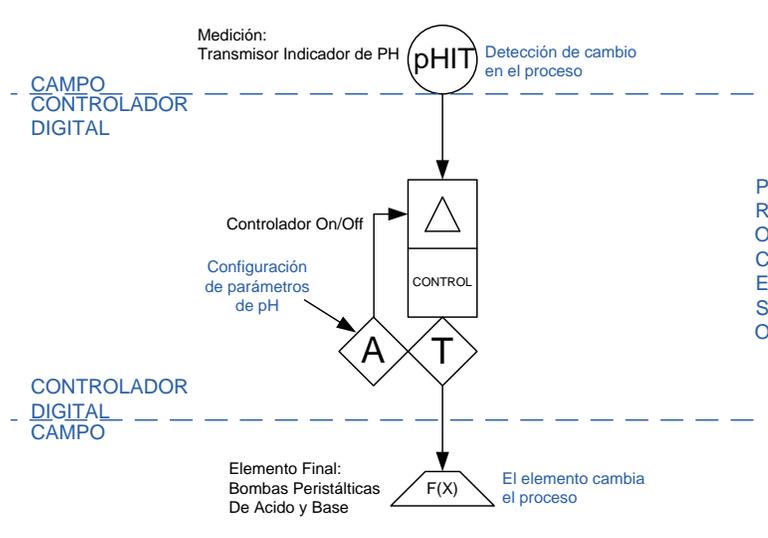


Figura 3.16 Diagrama srama de control de pH en el proceso de hidrólisis. Fuente propia.

Diagrama srama de control de velocidad para el proceso de hidrólisis

En la figura 3.17 se muestra el diagrama srama del lazo de control de velocidad en el biorreactor de 5Lts.

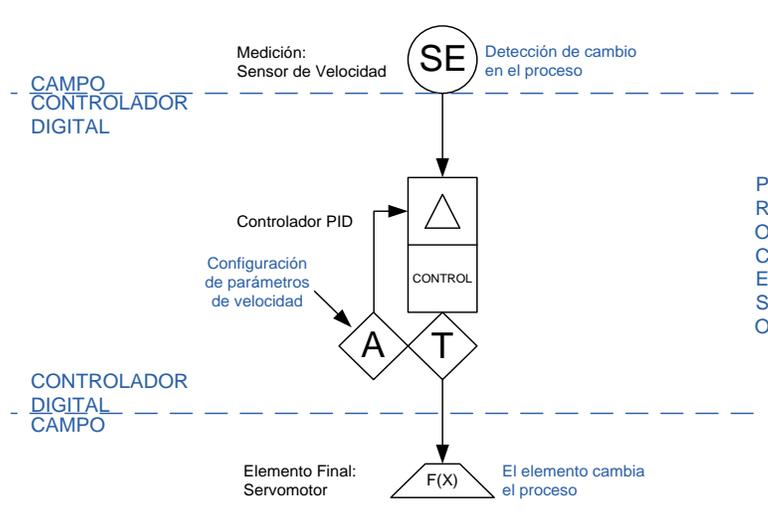


Figura 3.17 Diagrama srama de control de velocidad en el proceso de hidrólisis. Fuente propia

3.3 Ingeniería detallada

En el proceso de hidrólisis se realiza la ingeniería detallada, considerada en los siguientes términos:

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

La ingeniería de detalle tiene como objetivo obtener el diseño detallado de la instalación, necesario para proceder con la construcción.

- Diagrama pictórico de la conexión de equipos dentro del gabinete de control.
- Típicos de cableado de los diagramas de lazo para el control de las variables en el proceso de hidrólisis.
- Típicos de Instalación de los principales equipos utilizados en el proceso de hidrólisis [1].

3.3.1 Diagrama pictórico del cableado eléctrico del armario de control

En el presente trabajo se realizó un diagrama eléctrico, ver figura 3.18, a modo de pictórico del armario de control con el fin de identificar equipos, comprender el funcionamiento y las conexiones al PLC. Para la elaboración del diagrama se utilizó un medidor de continuidad y un procedimiento de seguimiento de cada cable.

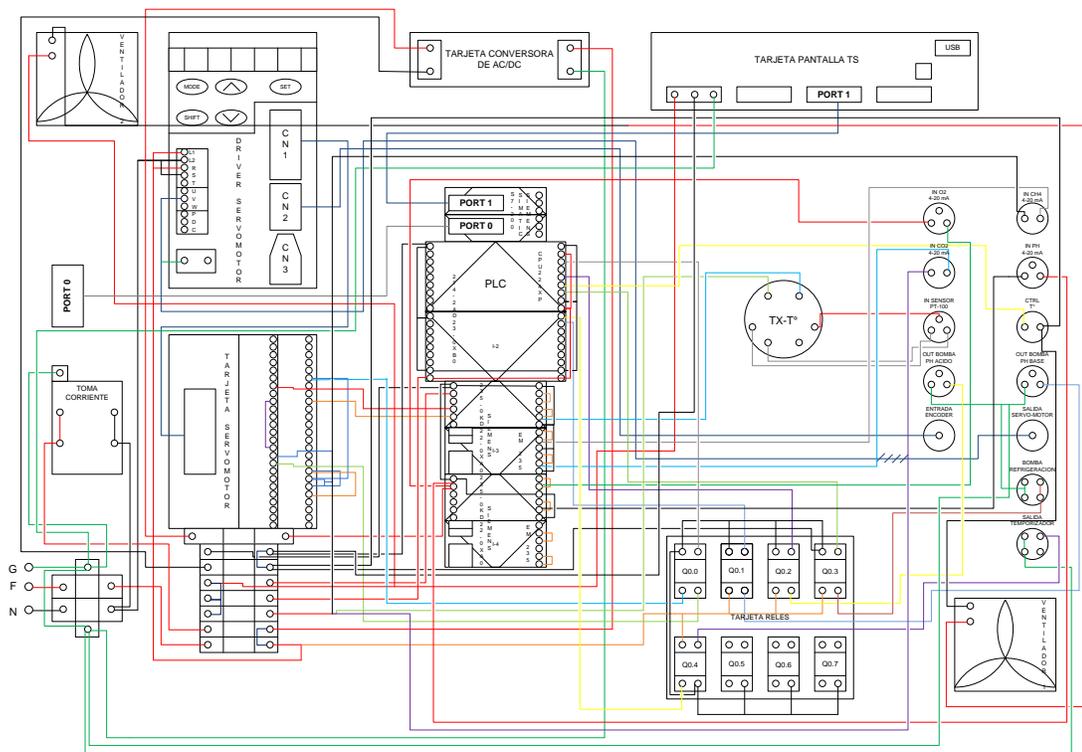


Figura 3.18 Diagrama pictórico de las conexiones eléctricas del armario de control.
Fuente propia.

Como primera medida se procedió a identificar los equipos dentro del armario, encontrando:

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

- Un PLC siemens S7-200
- Dos módulos analógicos EM-235
- Una tarjeta de relés
- Un variador de velocidad
- Una tarjeta de expansión para el variador
- Una tarjeta para convertir el Vac/Vdc
- Una pantalla táctil
- Un transmisor de temperatura
- Dos ventiladores de 24Vdc
- Un Breaker de 110Vac
- Un toma corriente
- Una bornera de 8 conectores
- El puerto de salida del armario al PC
- 12 conectores para la conexión de los instrumentos.

Una vez identificado los equipos dentro del armario de control, se procedió a verificar las conexiones de cada uno, posteriormente se hizo el seguimiento de cada cable dentro del armario y se fue dibujando un plano pictórico de las conexiones internas utilizando los colores de cada cable para tener un diagrama guía similar al original. Este diagrama pictórico ha sido utilizado para realizar cada uno de los planos de la ingeniería básica y detallada. El diagrama eléctrico del armario de control se puede observar en detalle en el anexo C.

3.3.2 Diagramas de lazo de control de instrumentos del proceso de hidrólisis

La tabla 3.5 lista las borneras y conectores identificadas y etiquetada para cada lazo de control dentro del armario de control.

Tabla 3.5 Lista de borneras y conectores en el armario de control

Identificación	Nombre de la Bornera
B1	Borneras del PLC
B2	Borneras del modulo analógico 1
B3	Borneras del modulo analógico 2
B4	Borneras de la tarjeta de expansión del variador
B5	Borneras del variador de velocidad
BRL0	Borneras del relé Q-100
BRL1	Borneras del relé Q-101
BRL2	Borneras del relé Q-102
BRL3	Borneras del relé Q-103
BRL4	Borneras del relé Q-104
BT1	Borneras del tx de T ^o
BT2	Borneras del tx de pH
JB01	Juntion Box
C1	Conector de IN O ₂
C2	Conector de IN CH ₄
C3	Conector de IN CO ₂

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

C4	Conector de IN PH
C5	Conector de IN PT-100
C6	Conector de control de T° de calentamiento
C7	Conector de OUT Bomba pH Acido
C8	Conector de OUT Bomba de pH Base
C9	Conector de Entrada Encoder
C10	Conector de salida Servomotor
C11	Conector de Bomba de Refrigeración
C12	Conector para la salida del temporizador
C13	Conector del sensor de O ₂ -2
C14	Conector del sensor de CH ₄ -2
C15	Conector del sensor de CO ₂ -2
C16	Conector del sensor de pH-2
C17	Conector del sensor de T°-2
C18	Conector del control de temperatura-2
C19	Conector de la Bomba pH Acido-2
C20	Conector de la Bomba de pH Base-2
C21	Conector del encoder-2
C22	Conector del servomotor-2
C23	Conector de la Bomba de Refrigeración-2
C24	Conector del Temporizador-2
C25	Conector de la Bomba de Refrigeración-3
C26	Conector de OUT Bomba pH Acido-3
C27	Conector de OUT Bomba de pH Base-3

Diagramas de lazo de control de temperatura de calentamiento y enfriamiento

En las figura 3.19 y 3.20 se muestra el diagrama de lazo para el control de temperatura de calentamiento y enfriamiento, respectivamente en el proceso de hidrólisis de harina/almidón para el biorreactor de 5 lts, de acuerdo con la norma ISA S5.4.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

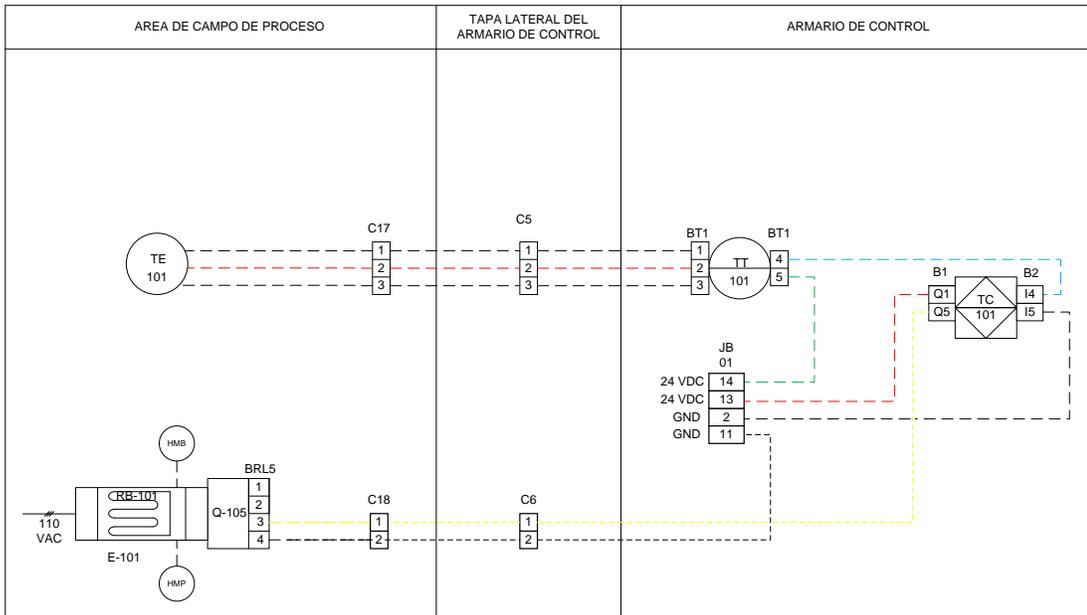


Figura 3.19 Diagrama de lazo para el control de temperatura de calentamiento en el proceso de hidrólisis. Fuente propia.

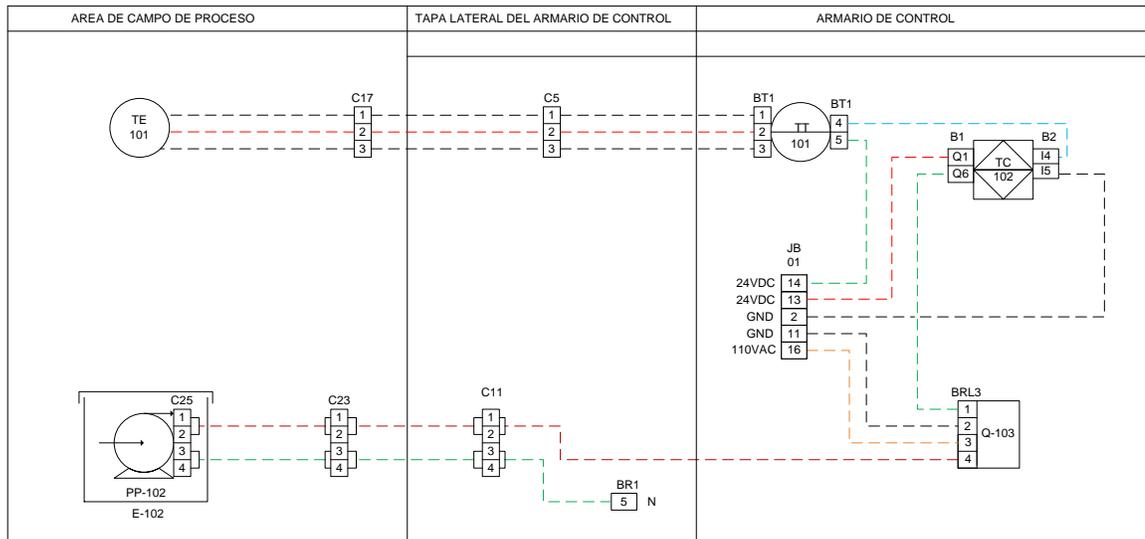


Figura 3.20 Diagrama de lazo para el control de temperatura de enfriamiento en el proceso de hidrólisis. Fuente propia.

Diagramas de lazo de velocidad del proceso de hidrólisis

En la figura 3.21 se muestra el diagrama de lazo para el control de velocidad en el proceso de hidrólisis de harina/almidón para el biorreactor de 5 lts, de acuerdo con la norma ISA S5.4.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

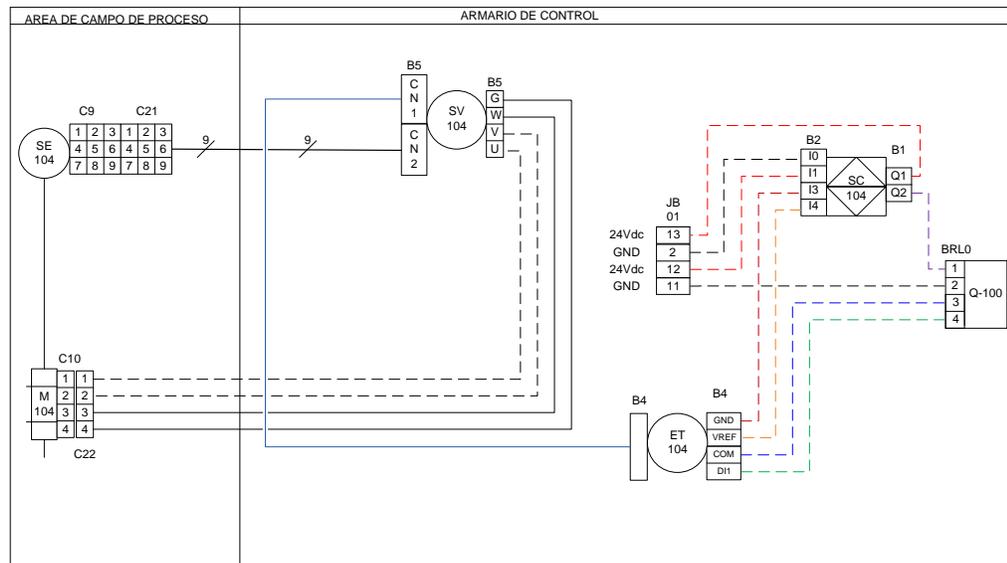


Figura 3.21 Diagrama de lazo para el control de Velocidad en el proceso de hidrólisis. Fuente propia.

Diagramas de lazo de pH del proceso de hidrólisis

En la figura 3.22 se muestra el diagrama de lazo para el control de pH en el proceso de hidrólisis de harina/almidón para el biorreactor de 5 lts, de acuerdo con la norma ISA S5.4.

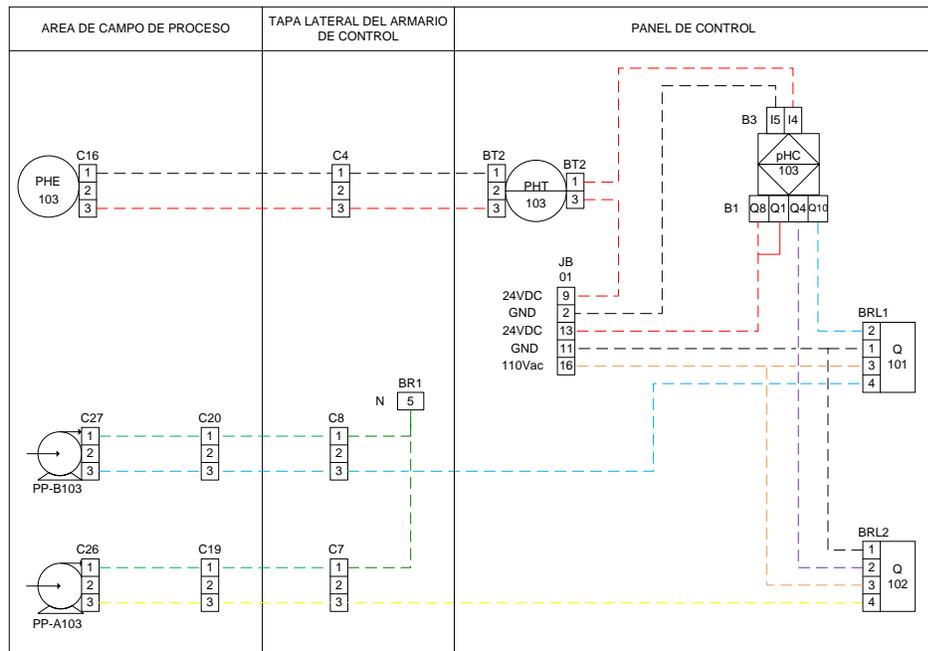


Figura 3.22 Diagrama de lazo para el control de pH en el proceso de hidrólisis. Fuente propia

3.3.3 Diagramas de potencia y mando del proceso de hidrólisis

Diagramas de potencia y mando del control de temperatura de calentamiento

En la figura 3.22 se muestra el diagrama de potencia y mando del control de temperatura de calentamiento. El diagrama muestra la forma cómo está conectado el baño termostático tanto a la red eléctrica de 110Vac que alimenta la resistencia RB-101, como también el mando que ejerce el PLC sobre el relé que enciende la resistencia.

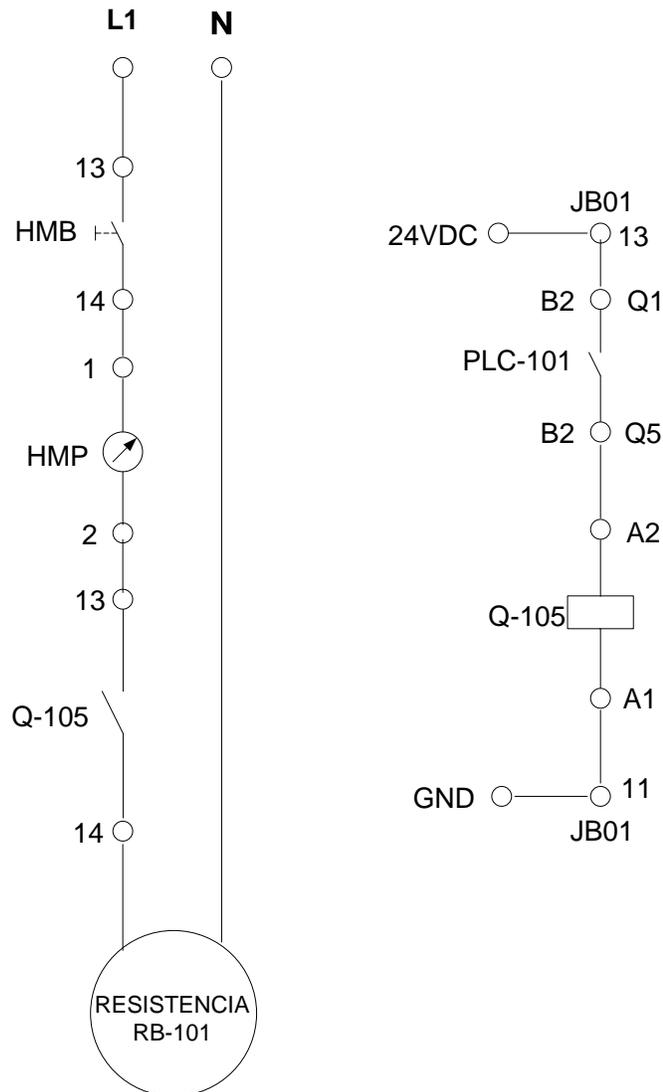


Figura 3.23 Diagramas de potencia y mando del control de temperatura de calentamiento. Fuente propia.

Diagramas de potencia y mando del control de temperatura de enfriamiento

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

En la figura 3.24 se muestra el diagrama de potencia y mando del control de temperatura de enfriamiento. El diagrama muestra la forma cómo está conectada la bomba sumergible PP-102 tanto a la red eléctrica de 110Vac, como el mando que ejerce el PLC sobre el relé que enciende esta bomba.

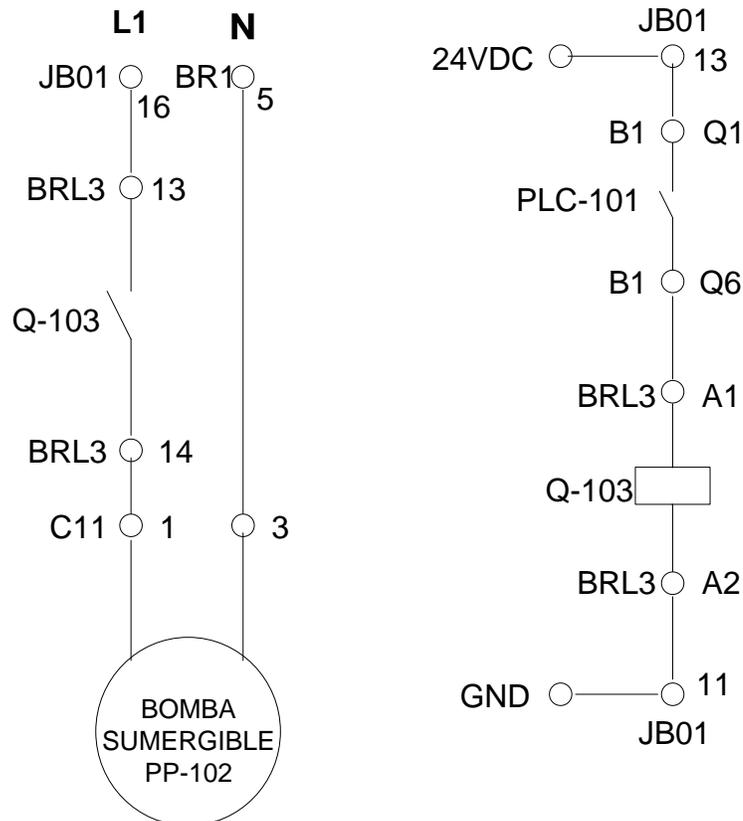


Figura 3.24 Diagramas de potencia y mando del control de temperatura de enfriamiento. Fuente propia

Diagramas de potencia y mando del control de pH para la bomba de ácido y base

En las figuras 3.25 y 3.26 se muestran los diagramas de potencia y mando del control de pH para la bomba de base y ácido, respectivamente. Los diagramas muestra la forma cómo están conectadas las bombas tanto a la red eléctrica de 110Vac, como al mando que ejerce el PLC sobre el relé que las enciende.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

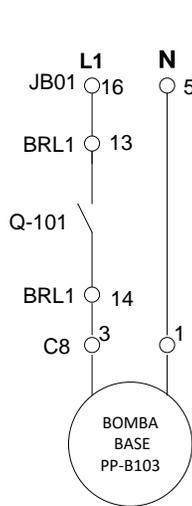


Figura 3.25 Diagramas de potencia y mando del control de pH para la bomba de base. Fuente propia

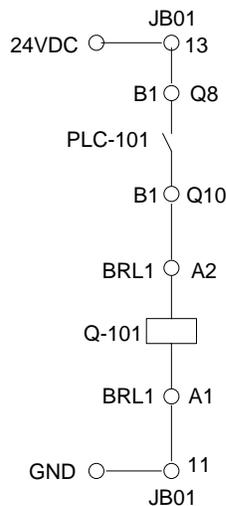


Figura 3.26 Diagramas de potencia y mando del control de pH para la bomba de ácido. Fuente propia

Diagramas de potencia y mando del control de velocidad

En la figura 3.27 se muestra el diagrama de potencia y mando del control de velocidad. El diagrama muestra la forma como está conectado el servomotor tanto a la red eléctrica de 110Vac, como el mando que ejerce el PLC sobre el relé que enciende el variador.

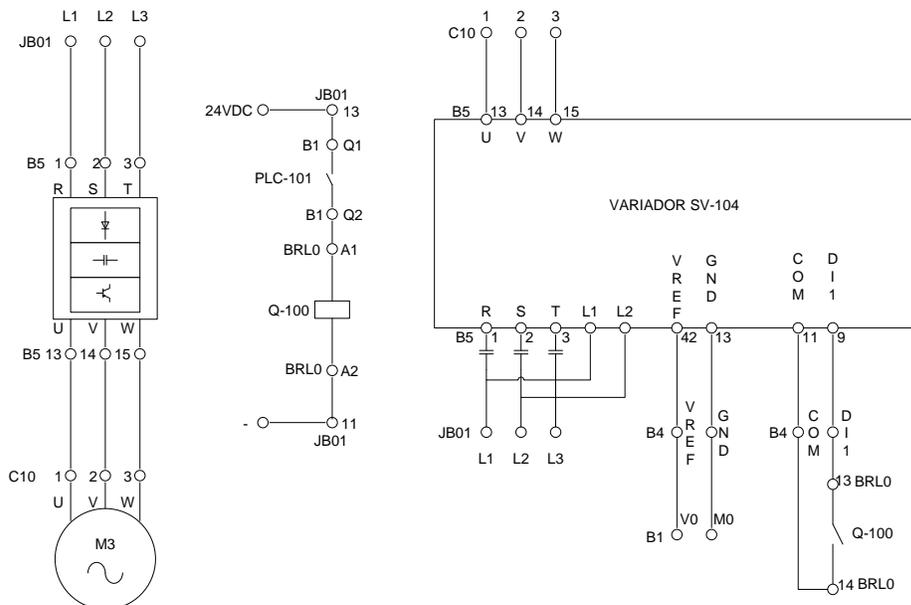


Figura 3.27 Diagramas de potencia y mando del control de velocidad. Fuente propia.

Diagramas de potencia del armario de control

En la figura 3.28 se muestra el diagrama de potencia del armario de control. El diagrama muestra cómo está conectado el armario de control a la red eléctrica de 110Vac, el encendido se hace por medio del *breaker* B-101.

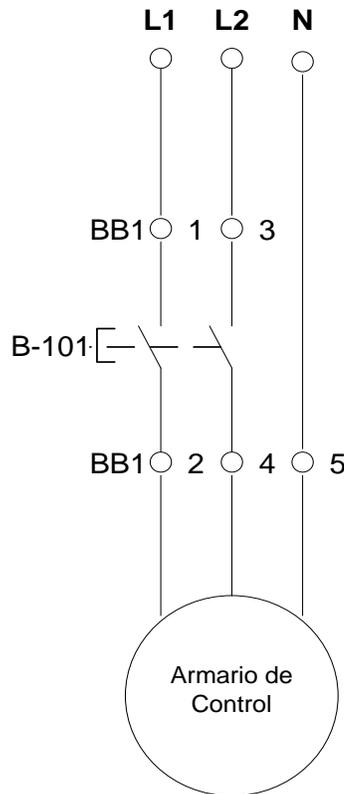


Figura 3.28 Diagramas de potencia del armario de control. Fuente propia.

3.3.4 Graficet del proceso de hidrólisis

La figura 3.29 contiene el graphicet que corresponde al algoritmo de programación alojado en el PLC S7-200. Este obedece a las fases establecidas en el modelo procedimental de la ISA88 parte I propuesto en el capítulo II de este trabajo de grado y detalladas en el anexo F. Teniendo en cuenta que solo son usadas las fases para el desarrollo del programa, aquellas que hacen parte del control de las variables que intervienen en el proceso y que se requieren para ejecutar la lógica establecida.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

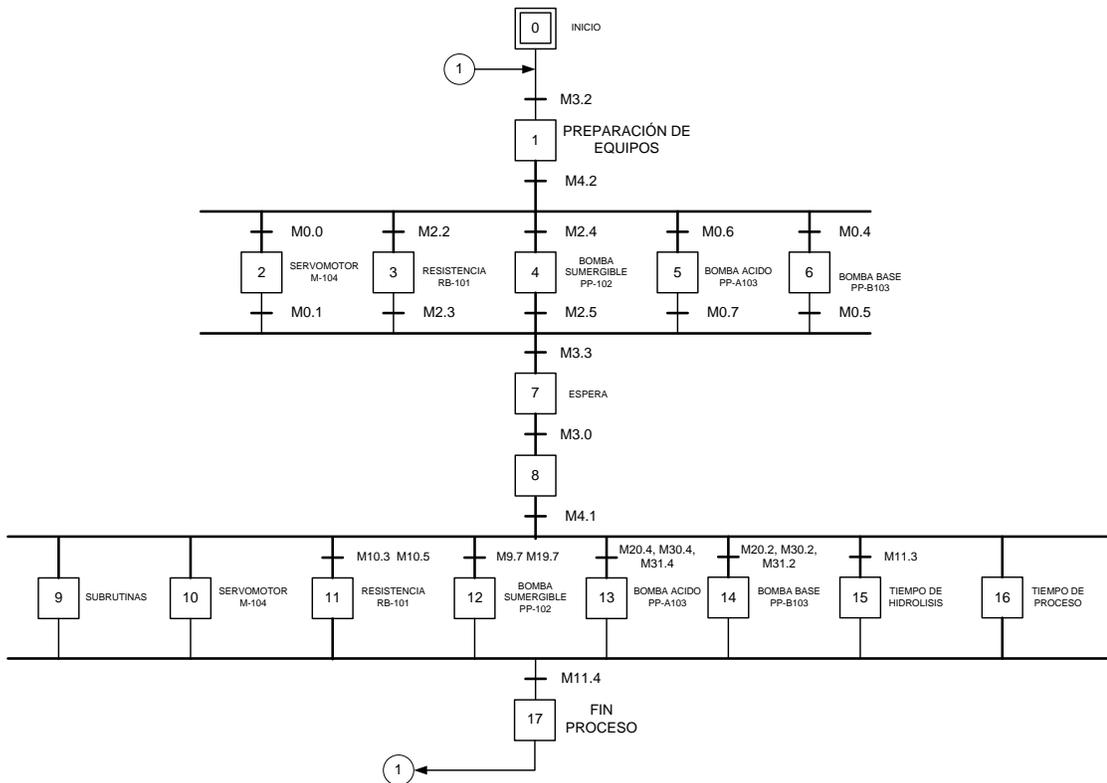


Figura 3.29 Grafset proceso de hidrólisis. Fuente propia

El proceso inicia con la preparación de equipos revisando el estado de cada uno de ellos, activándolos y desactivándolos para verificar su correcto funcionamiento. Después de realizar la prueba de equipos se realiza la hidrolización, donde se activan en paralelo todos los equipos, subrutinas de los lazos de control establecidos y tiempos de proceso, aclarando que estas subrutinas contienen todas las fases necesarias para desarrollar el correcto funcionamiento del proceso y el proceso culmina cuando el tiempo de hidrólisis ha finalizado. Ver mayores detalles en el anexo I.

3.3.5 Modelos ISA 88 parte I detallados

En el capítulo II de esta monografía se propusieron los modelos de proceso, físico y procedimental obedeciendo a la norma ISA88 parte I, pero gracias al etiquetado de los equipos, instrumentos y accesorios, desarrollado en la ingeniería básica del presente capítulo, se amplía la información establecida en estos modelos, ver anexo G para un mejor complemento.

Todo ello con el fin de especificar en detalle cada una de las operaciones, acciones y fases que hacen parte del proceso, y de esta forma establecer un protocolo completo que permita desarrollar adecuadamente el proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca.

BIBLIOGRAFÍA DEL CAPITULO 3

- [1] SUDELCA, “Ingeniería de proyectos”, <http://www.sudelca.com.ve/ingenieria.htm>, última visita 10-10-10.
- [2] NOVOZYMES. Almidón: ficha de aplicación. Licuefacción eficiente del almidón. 2008.
- [3] BONILLA Rocío. Modificación enzimática de almidón obtenido de siete variedades de yuca (*manihot esculenta crantz*) para el desarrollo de películas flexibles. Tesis pregrado, Universidad del Cauca, 2010.
- [4] MUSSATTO, Solange I. DRAGONE, Giuliano. FERNANDES, Marcela. MILAGRES, Adriane M. F. ROBERTO, Inés C. The effect of agitation speed, enzyme loading and substrate concentration on enzymatic hydrolysis of cellulose from brewer’s spent grain. *Cellulose*, 15, 711–721.

CAPITULO 4: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SCADA PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA/ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCIÓN DE EMPAQUES BIODEGRADABLES

Conocer la instrumentación, los equipos y la naturaleza del proceso facilitan el desarrollo de cualquier aplicación HMI que este dirigida a mejorar la productividad del proceso, además una correcta adquisición de las necesidades se traduce en una solución efectiva y eficiente. Por tal razón en los anteriores capítulos de esta monografía se presenta la documentación técnica detallada, necesaria para poder diseñar e implementar un sistema de monitoreo y supervisión (SCADA) para el proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca.

Es importante mencionar que la versión del SCADA diseñado e implementado por la empresa Centricol solo permite realizar el proceso de hidrólisis de harina y almidón de yuca de forma manual. El biorreactor se encuentra automatizado pero lamentablemente el SCADA diseñado con el Win CC flexible no aprovecha todos los recursos y ventajas que ofrece este tipo de software. Por ejemplo, un aspecto clave, no tenido en cuenta es la programación de rampas y zonas de valores de consigna de las variables de proceso controladas en el biorreactor, a lo largo del proceso, un segundo aspecto es la absoluta carencia de alarmas de proceso, un tercer aspecto concierne a que las interfaces diseñadas no obedecen normas técnicas afín a la implementación de HMI, un cuarto aspecto es que el SCADA es confuso y la falta de documentación al respecto genera problemas en su operación. Todo lo anterior aunado a una nula documentación técnica de los equipos y deficiente capacitación en el manejo del biorreactor, conduce a una subutilización de la celda de proceso que prácticamente obliga a que los operarios opten por realizar el proceso en forma manual.

Durante todo este proceso de operación manual de la celda, la información que se genera durante el mismo es recopilada en las bitácoras de quienes realizan dichos procesos de hidrólisis de harina o almidón de yuca. Sin embargo, no se sigue ningún protocolo que permita mantener un único formato de registro, ni de presentación, además no se han determinado cuáles son los datos relevantes que se deben guardar en las bitácoras. Esto conduce a un problema relacionado con los récipes que cada investigador lleva a cabo en la celda de proceso, esto es, cada operario tiene su propia versión de récipe acorde a sus necesidades particulares de investigación, no se comparte la información de una forma organizada y completa que garantice una fiel reproducción de los resultados por parte de otro investigador y cada operario realiza a motu propio la preparación y puesta en marcha de la celda. Todo esto conduce a que no se pueda proporcionar información veraz de cómo realizar el escalamiento a nivel industrial y obtener los récipes maestros de cada variedad.

Por lo tanto tras haber analizado las carencias y deficiencias del SCADA actual, las necesidades reales de los usuarios, el carácter investigativo que presenta el

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca, la naturaleza del proceso y los recursos con los que se cuenta, se determinan los siguientes requerimientos para el diseño y la implementación del SCADA de dicho proceso:

- 1) El SCADA debe permitir el uso correcto y adecuado de los equipos de la celda de proceso.
- 2) El SCADA debe ser una guía durante el proceso, de tal forma que se garantice que los procedimientos sean llevados a cabo siempre de la misma forma y no haya lugar a dudas en la preparación y uso de equipos, instrumentos y reactivos.
- 3) Las interfaces del HMI deben ser de fácil interpretación.
- 4) Debe recopilar la información relevante de una forma organizada, manteniendo un único formato, cada vez que se realice el proceso de hidrólisis para harina o para almidón.
- 5) Se deben generar alarmas acordes y necesarias para realizar un adecuado control de las variables que afectan el proceso.
- 6) Se deben visualizar tendencias y debe imprimirse un reporte.

4.1. Diseño y desarrollo de las HMI del sistema de monitoreo y supervisión

Partiendo de las necesidades de los usuarios, del estudio del proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca, de los requerimientos planteados y atendiendo a los modelos de la norma ISA 88 planteados en el capítulo II de esta monografía, es claro que el SCADA debe permitir desarrollar las cuatro etapas en las cuales se divide el proceso:

- Limpiar el biorreactor
- Preparar y probar equipos
- Preparar la suspensión
- Hidrolizar

La anterior división es tenida en cuenta como eje principal de la estructura del SCADA, pues de ellas se derivan todas operaciones y acciones que permiten llevar a buen término el proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca. De este modo las interfaces se ubican en 2 grupos, el primer grupo corresponde a aquellas que obedecen el modelo de proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca y el segundo grupo formado por aquellas que atienden requerimientos como: visualización de alarmas y de tendencias. Por otro lado el requerimiento 2 conduce a usar criterios de funcionalidad y usabilidad junto con las operaciones y acciones establecidas en los modelos de la norma ISA 88 planteados para el proceso junto con elementos de diseño de HMI [1].

4.1.1. Funcionalidad

Lo que un producto puede hacer. Probar la funcionalidad significa asegurar que el producto funciona tal como estaba especificado [2].

4.1.2. Usabilidad

Es la medida en la cual un producto puede ser usado por usuarios específicos para conseguir objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso especificado [3].

Otros aspectos tenidos en cuenta para el diseño del SCADA son:

4.1.3. El color de las pantallas

El sentido más explotado en el intercambio de información con el sistema de control es la vista [3], por lo tanto para el fondo de las pantallas se escoge un color gris claro con letras de color oscuro acudiendo al concepto de polaridad y su efecto, pues con la polaridad positiva, los brillos se aprecian menos al tener mayor iluminación de pantalla y los bordes son más nítidos, también es más fácil equilibrar la iluminación del entorno próximo y es mas legible un texto oscuro sobre un fondo claro [4].

4.1.4. El fondo de las pantallas

El objetivo de colocar un sinóptico de la instalación es ayudar a que el usuario se haga una rápida imagen del conjunto y sepa donde se halla cada componente y como está estructurado el proceso [5], por ello en las dos primeras pantallas del SCADA se incluye un sinóptico de la planta de proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca, para que los usuarios identifiquen cuales son los equipos que hacen parte de la celda de proceso y se facilite la ejecución de procedimientos. El sinóptico que se emplea es una imagen desarrollada en *Solid Edge* [5], ver anexo D, que tiene un grado de similitud alto, tanto en aspecto como en dimensiones, adicionalmente se hace una representación de la distribución de equipos y del entorno real.

4.1.5. Ubicación de los elementos

Cuando se observa una pantalla se la lee de la misma forma que cuando se toma una página de un periódico, con la salvedad de que no se tienen pautas de lectura (las líneas) para guiarse a través de ella [6]. El efecto resultante es el de barrido. La pantalla se comienza a leer por la parte superior izquierda y se va bajando hacia la derecha de forma cada vez más acusada, entonces considerando esta pauta de comportamiento, se tiene una idea de cómo se pueden distribuir las zonas de influencia de la pantalla [6]. En la figura 4.1 se aprecia una posible distribución de la pantalla de tal modo que la información sea percibida de la manera que se requiere.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

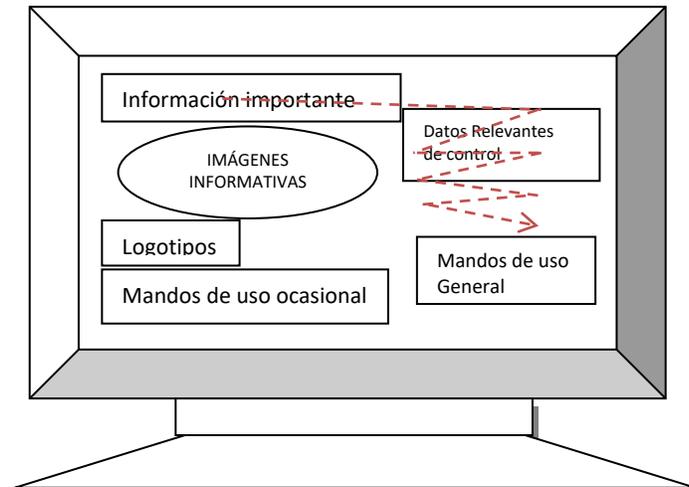


Figura 4.1 Zonas de pantalla recomendadas. Tomado de [3].

Recurriendo a dos principios básicos de la conducta humana: proximidad y similitud, se deben ubicar los botones de mando en la parte inferior derecha, y los colores usados son seleccionados de la siguiente manera: los botones que conducen a una pantalla nueva poseen un color gris de fondo y la letra en color negro, los botones de salida con un fondo amarillo con letras negras. Esto debido al concepto de contraste, ocasionado una cómoda visualización del texto, una rápida y fácil ubicación de los mismos, además la posición de los botones de mando se mantiene en todas las pantallas presentes, de modo que el usuario ya sabrá dónde ubicarlos y no tendrá que perder tiempo explorando cada pantalla.

4.1.6. Proximidad

Al agrupar elementos, inconscientemente, se tiene la tendencia a relacionarlos, considerando que mantiene una relación funcional entre ellos [7]. Los elementos cercanos en el espacio se consideran agrupados, de la misma forma que si se emplean marcos que los contengan, colores y formas [7]. Lo anterior se puede observar en las pantallas mostradas en las figuras 4.7, 4.8, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 y 4.19. De esta forma, y atendiendo lo anteriormente mencionado, el grupo de botones de mando "START" y "STOP" han sido ubicados cerca y debajo del elemento que manipulan, manteniendo este parámetro presente en todas las pantallas que permiten realizar esta misma tarea con dispositivos diferentes. Así mismo, en las pantallas que hacen referencia a las gráficas, ver figuras 4.22, 4.23, 4.24 y 4.25, poseen botones que permiten ir hacia cada gráfica y están encerrados en un recuadro de color azul, que a primera vista se diferencian de los botones que se encuentran en la parte inferior, que permiten ir hacia las otras pantallas del HMI del SCADA. Este mismo proceder se puede apreciar en las pantallas que corresponden a la configuración de parámetros, ver figuras 4.20 y 4.21, pues se encerraron los cuadros de dialogo que permiten configurar los parámetros según la variable a configurar.

4.1.7. El cuadro sinóptico

El cuadro sinóptico empleado es una representación minimalista de la planta, pues el hecho de incluir mucho detalle de la realidad genera una recarga en la imagen y dificulta la visualización de las VP que deben ser monitoreadas y controladas. Los equipos presentes en el cuadro sinóptico cambian de color cuando se encuentran operando, para ello se emplea la norma de colores para tuberías DIN 2403, y los botones se ubican en la parte inferior de la pantalla buscando que los elementos se observen agrupados.

4.1.8. Letras y números

Atendiendo el requerimiento de la directiva 90/270/CEE para pantallas, “Los caracteres de pantalla deberán estar bien definidos y configurados de forma clara y tener una dimensión suficiente disponiendo de un espacio adecuado entre los caracteres y los renglones” [8], se dispuso que el texto que contienen los botones que permiten la navegación por las pantallas importantes y los botones que permiten desarrollar acciones de mando estén en mayúscula y contrasten con el fondo del botón sin causar cansancio visual. El tipo de letra empleado fue Calibri por presentar trazos suaves y redondeados. Para el texto ubicado en la parte superior de las pantallas que indica en que parte del HMI del SCADA se usó este mismo tipo de letra, pero en un tamaño más grande, de tal forma que resalte y el usuario identifique fácilmente si se encuentra en el lugar que desea.

4.1.9. Representación de valores

Durante el proceso se monitorean y visualizan las variables: pH, Velocidad y Temperatura, para ello se hace uso del cuadro sinóptico y de los conceptos de proximidad y similitud. Por ejemplo, el despliegue numérico del valor de temperatura se hace cerca de la imagen del sensor de temperatura, y de igual forma se realiza para la indicación numérica de pH y Velocidad.

4.1.10. Convenciones de diseño, coherencia y consistencia y colores de indicadores y mandos

Recordando los requerimientos 2 y 3, los botones que se emplean en las pantallas como “SALIR”, siempre están ubicados en el mismo sitio de modo que el usuario asocie esta ubicación, forma y color a la función de salir y no pierda tiempo. Este mismo principio se sigue para los botones “START” y “STOP”, así como para “ATRÁS” y “SIGUIENTE”, aclarando que están ubicados así: “ATRÁS”, al lado izquierdo de la pantalla con los símbolos <<, mientras que el botón “SIGUIENTE”, está ubicado en la parte derecha de la pantalla con los símbolos >>. El color de estos botones se mantiene y se diferencia de los demás, es un color azul que no tiene una connotación específica con los botones de mando.

4.2. Interfaces del SCADA del proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca

En la figura 4. 2 se observa la organización jerárquica aplicada a las interfaces del SCADA diseñado. Este sigue el modelo ISA 88 del proceso e ilustra dos grupos de interfaces. En el primer grupo se encuentran las HMI que hacen alusión al proceso (P), a las etapas (E), operaciones y acciones, mencionando que las acciones están inmersas en las interfaces que se han denominado con la letra O, mientras que para el segundo grupo las interfaces se relacionan con algunos requerimientos (R).

4.2.1 Descripción de las interfaces usadas en la Interfaz Humano Computador (HCI) del proceso de monitoreo y supervisión del proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca

El primer grupo de interfaces está formado por las HMI 1 a 19, ver figuras 4.3 a 4.21. En la interfaz 1, I1, el usuario observa una imagen de la celda con la información básica de los equipos y elementos que hacen parte de ella. Se lee en la parte de arriba de la pantalla, con letras mayúsculas, los datos de ubicación de la planta, acompañado de la hora y la fecha. En la parte inferior se encuentran los botones: “MENU” y “SALIR”, el primero permite ir a la pantalla de menú principal y “SALIR” finaliza el *runtime* del WINCC parando la aplicación.

La interfaz 2, P1, figura 4.4, se muestra tras pulsar el botón “MENÚ” de P1. En ella el usuario tiene 5 opciones: Limpieza biorreactor, Preparación de equipos, Preparación de la suspensión, Hidrolizar y Salir. Si la opción pulsada es “Limpieza biorreactor” la interfaz que aparece es la E1, la cual posee las operaciones y acciones correspondientes a esa etapa, además posee un botón llamado “ATRÁS” que permite regresar a la interfaz P1.

Si el botón pulsado es “Preparación de equipos” la pantalla mostrada es la E2 que posee seis opciones que obedecen a las operaciones definidas para la segunda etapa del proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca: “Baño de enfriamiento”, “Baño termostataado”, “Sensor de Temperatura”, “Sensor y Transmisor de pH”, “Bombas peristálticas” y “Agitador”, y al presionar una de estas opciones, el SCADA muestra la interfaz correspondiente, O1, O2, O3, O4.1, O4.2, O5.1, O5.2, O5.3 y O6. Todas estas HMI poseen un botón “ATRÁS” o “SIGUIENTE” que le permite al usuario continuar con la operación o regresar a la interfaz E2, además cuentan con un botón “START” y “STOP” que permite activar y desactivar el equipo a probar.

Cuando la opción elegida es “Preparación Suspensión” la interfaz mostrada es la 14 E3, que contiene las operaciones y acciones correspondientes a esta etapa, además cuenta con un botón “SIGUIENTE” que le permite ir hacia la interfaz P1.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

Finalmente la última opción del menú principal P1 es “HIDROLIZAR”, y presionar este botón conduce hacia la HMI O7.1 donde el usuario consigna la información solicitada. Esta interfaz contiene un botón “SIGUIENTE” que lleva al usuario a la pantalla O7.2, donde continua suministrando información requerida y solo cuando termine debe pulsar el botón “SIGUIENTE” que lo lleva hacia la interfaz E4.

La HMI E4 permite ver el comportamiento general de la planta, los valores de la temperatura, velocidad y pH, así como el tiempo de proceso, el tiempo de hidrólisis, el estado de las bombas peristálticas, de la bomba de refrigeración y del servomotor, pues éstas según su estado cambian de color. Así mismo en la parte inferior están los botones: “Menú”, “Parámetros”, “Tendencias” y “Alarmas” y 4 botones que facultan al usuario para iniciar y parar el proceso de hidrólisis, parar la aplicación e imprimir el reporte final. Además en el lado inferior derecho se encuentran dos recuadros que se encienden indicando el momento en el cual se debe agregar la enzima o el cloruro de calcio.

Para poder dar inicio al proceso de hidrólisis el usuario debe pulsar el botón “PARÁMETROS”, observando la HMI O8.1, en ella se encuentran los campos para realizar la configuración de los parámetros que rigen el control de pH, dividido en tres zonas, ello atendiendo al análisis del proceso desarrollado en el capítulo 3. Después de fijar los valores se pulsa el botón “START pH” para activar el lazo de control y pulsar el botón “SIGUIENTE” que lleva hacia la pantalla O8.2.

La interfaz O8.2 permite configurar los parámetros de velocidad, temperatura tiempo de proceso, tiempo de hidrólisis, y temperatura de adición de reactivos, teniendo en cuenta que la temperatura está dividida en dos zonas de trabajo y cada una requiere de los datos solicitados. Después de finalizar la configuración de los parámetros, se presiona el botón “START T” para activar el lazo de control de temperatura, y luego se presiona el botón “Proc. Hidrólisis” que conduce a la pantalla E4, donde se supervisa y monitorea el comportamiento de los equipos y las variables durante el proceso.

El segundo grupo de interfaces está formado por las HMI R1, R2, R3 y R4 que atienden a los requerimientos 5) y 6) y a las cuales se accede tras pulsar el botón “TENDENCIAS” que se encuentra en la HMI E4. Estas permiten observar el comportamiento del pH, velocidad y temperatura durante todo el proceso. Igualmente la interfaz R5 corresponde a las alarmas que se puedan generar durante el proceso y se accede tras pulsar el botón “ALARMAS” de la HMI E4. Todas estas pantallas cuentan con botones de navegación, que permiten desplazarse hacia las otras curvas y de igual forma poseen un botón “PROC. HIDROLISIS” que al ser pulsado conduce a la interfaz E4.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

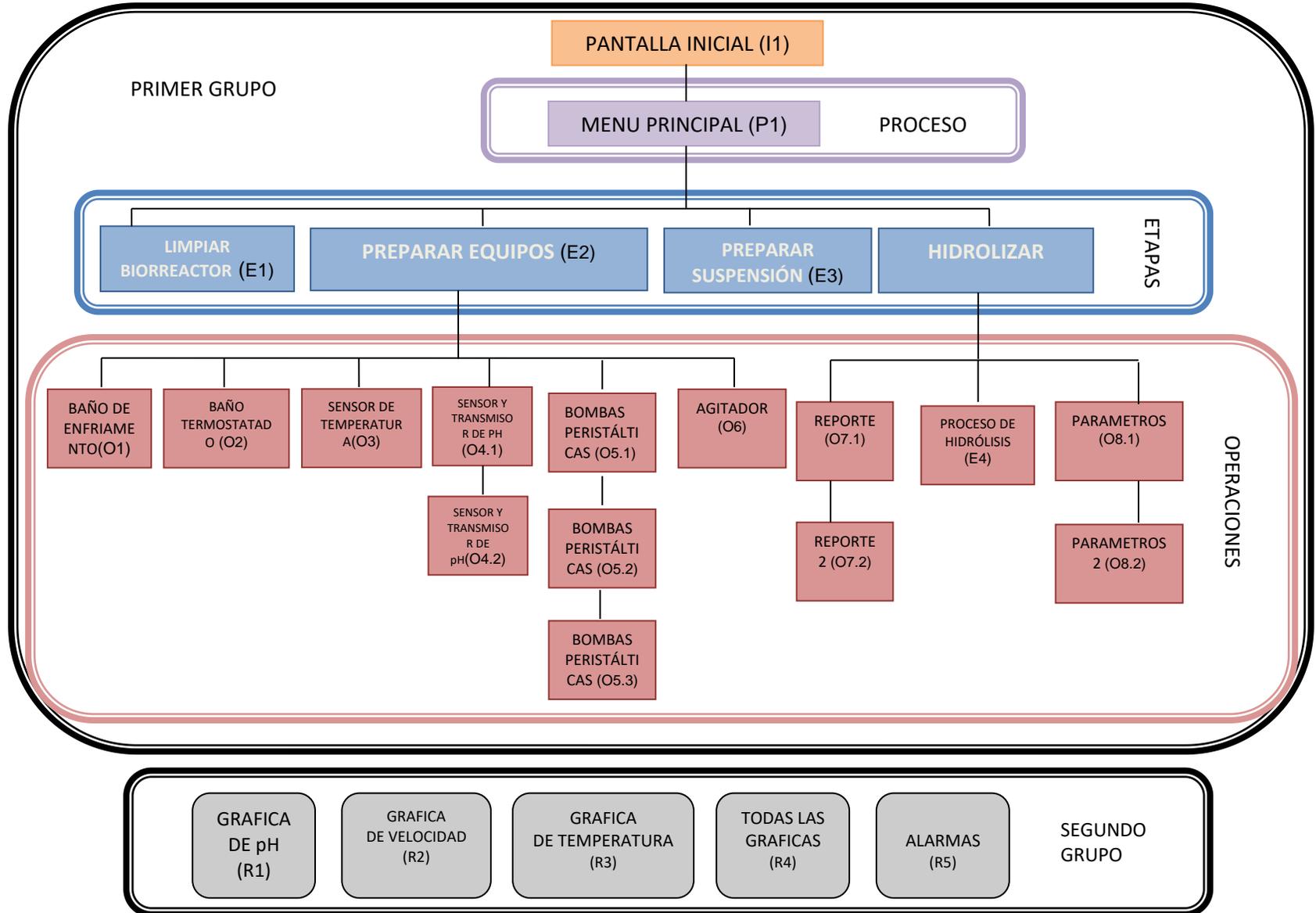


Figura 4.2 Gráfico jerárquico de las interfaces del SCADA. Fuente propia.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

PRIMERO Y SEGUNDO GRUPO DE INTERFACES



Figura 4.3 Interfaz 1, I1. Pantalla inicial Fuente propia.



Figura 4.4 Interfaz 2, P1. Menú Principal Fuente propia.



Figura 4.5 Interfaz 3, E1. Limpiar Biorreactor. Fuente propia.



Figura 4.6 Interfaz 4, E2. Preparar Equipos. Fuente propia.

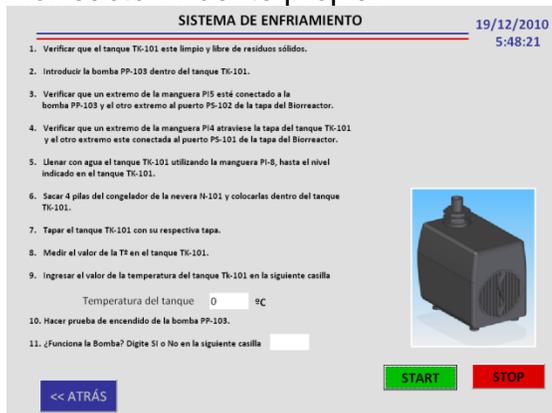


Figura 4.7 Interfaz 5, O1. Baño Enfriamiento. Fuente propia.

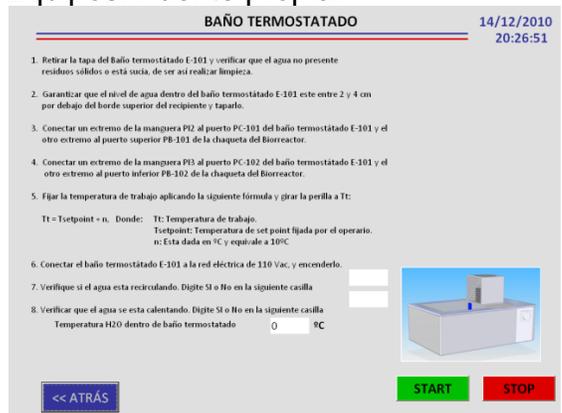


Figura 4.8 Interfaz 6, O2. Baño Termostático. Fuente propia.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

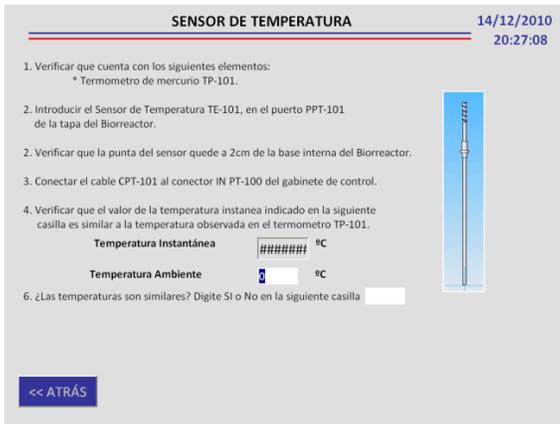


Figura 4.9 Interfaz 7, O3. Sensor de Temperatura. Fuente propia.



Figura 4.10 Interfaz 8, O4.1. Sensor-transmisor de pH. Fuente propia.

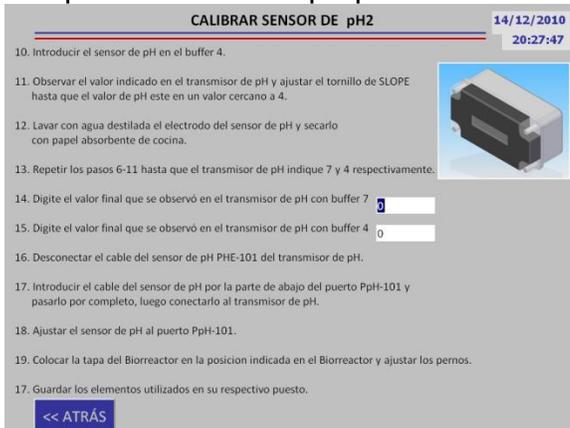


Figura 4.11 Interfaz 9, O4.2. Sensor-transmisor de pH. Fuente propia.



Figura 4.12 Interfaz 10, O5.1. Bombas Peristálticas. Fuente propia.

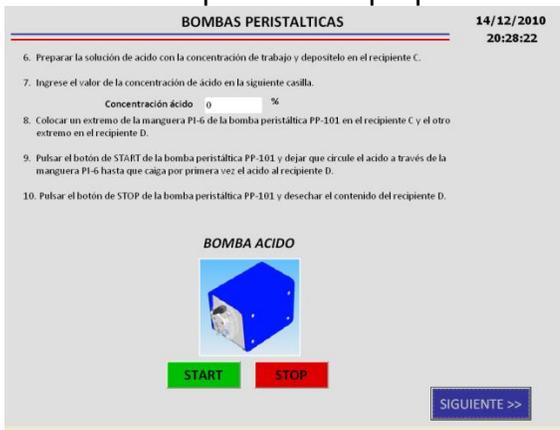


Figura 4.13 Interfaz 11, O5.2. Bombas Peristálticas. Fuente propia.

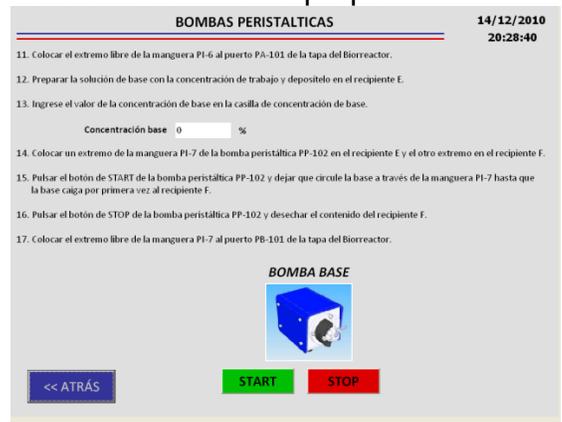


Figura 4.14 Interfaz 12, O5.3. Bombas Peristálticas. Fuente propia.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL



Figura 4.15 Interfaz 13, O6. Agitador. Fuente propia.

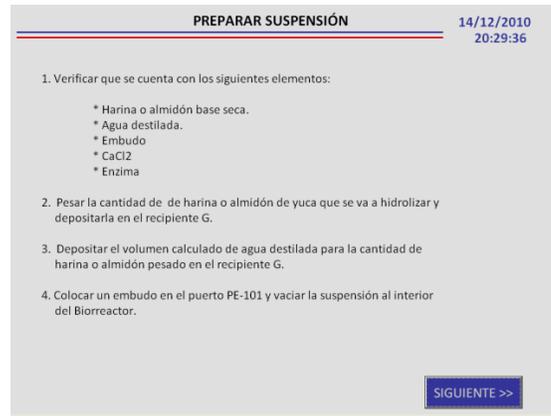


Figura 4.16 Interfaz 14, E3. Preparar Suspensión. Fuente propia.



Figura 4.17 Interfaz 15, O7.1. Reporte. Fuente propia.



Figura 4.18 Interfaz 16, O7.2. Reporte. Fuente propia.

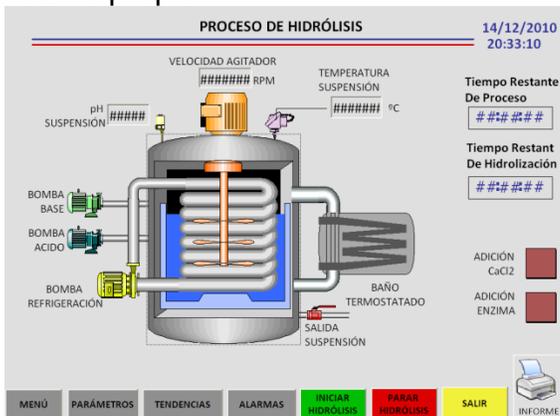


Figura 4.19 Interfaz 17, E4. Proceso de Hidrólisis. Fuente propia.



Figura 4.20 Interfaz 18, O8.1. Parámetros. Fuente propia.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

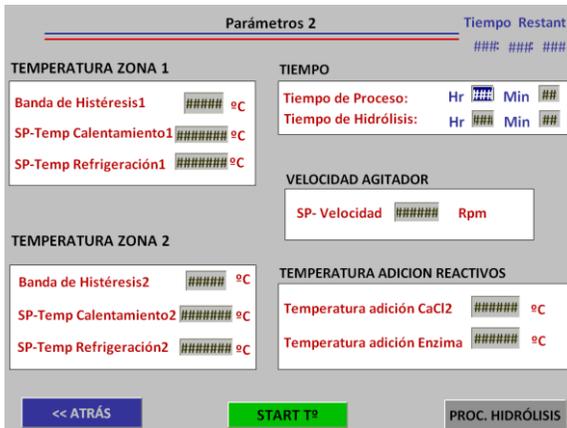
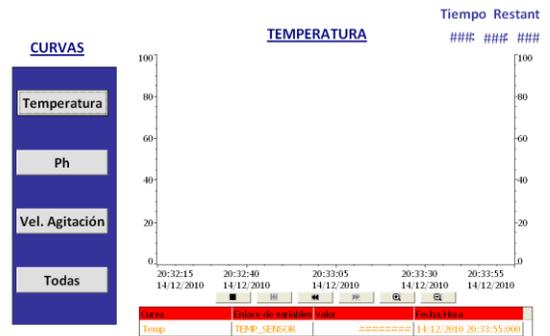


Figura 4.21 Interfaz 19, O8.2. Parámetros. Fuente propia.



PROC. HIDRÓLISIS

Figura 4.22 Interfaz 20,R1. Parámetros. Fuente propia.

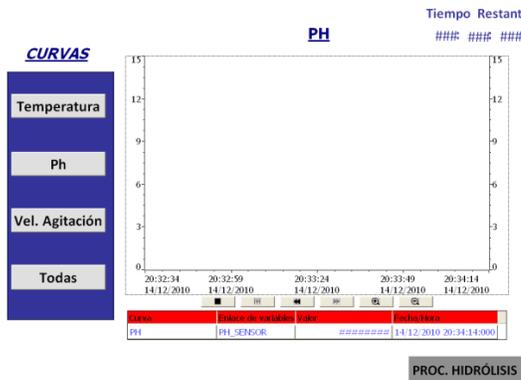


Figura 4.23 Interfaz 21, R2. Parámetros. Fuente propia.

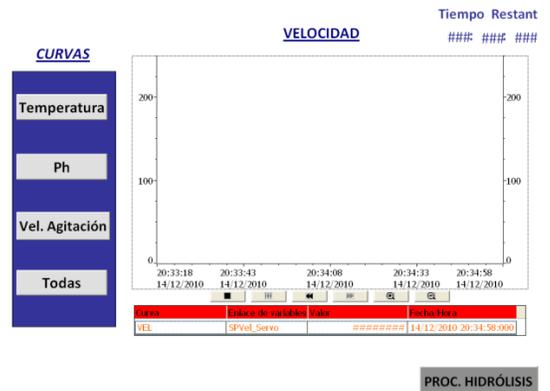


Figura 4.24 Interfaz 22,R3. Parámetros. Fuente propia.

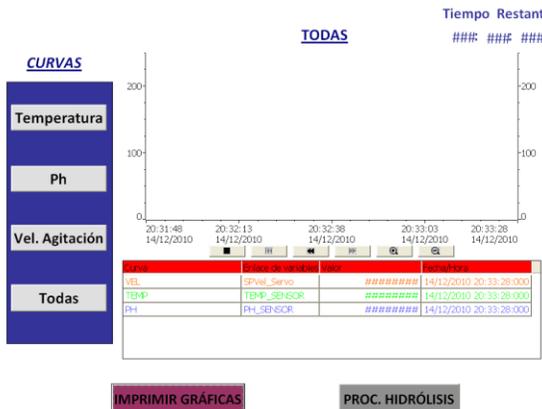


Figura 4.25 Interfaz 23, R4. Parámetros. Fuente propia.

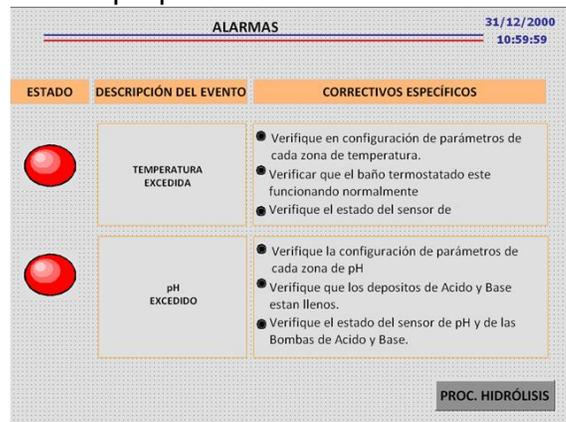


Figura 4.26 Interfaz 23, R5. Alarmas. Fuente propia.

Finalmente en la interfaz E4, se encuentra un botón "INFORME" que al ser presionado imprime el reporte correspondiente a la hidrólisis desarrollada, ver figuras 4.27, 4.28 y 4.29. Este informe contiene la información para obtener el

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

Funcionamiento Adecuado De Equipos		
Temperatura del tanque enfriamiento	00	°C
Temperatura H2O dentro de baño termostatado	00	°C
¿Funciona la Bomba?	00	
¿El agua esta recirculando en el baño termostatado?	00	
¿El agua se esta calentando en el baño termosta	00	
¿Las temperaturas son similares	00	
¿El agitador esta girando?.	00	
Velocidad de prueba del agitador	0000	RPM
Valor de la calibración Sensor pH buffer 7	0,00	
Valor de la calibración Sensor pH buffer 4	0,00	
pH inicial suspensión	0,00	

Figura 4.29 Reporte Proceso de hidrólisis harina/almidón de yuca. Fuente Propia.

Gracias al reporte obtenido tras cada hidrólisis llevada a cabo, los investigadores que hacen parte del macro proyecto, cuentan con las herramientas para realizar pruebas completamente documentadas y pueden analizar toda la información que se encuentra en el reporte. De este modo la obtención de un récipe maestro para cada variedad será sencilla, rápida y sobre todo con información veraz, generando aportes significativos a la investigación que se viene desarrollando en torno a la producción de empaques biodegradables. Finalmente la redacción detallada de un manual de usuario, ver anexo H, del manejo de la celda de proceso y el Scada permitirá que a futuro los nuevos investigadores utilicen rápidamente el sistema.

BIBLIOGRAFÍA CAPITULO 4

[1]RODRIGUEZ, Aquilino, Sistemas SCADA. México D.F. 2 ed. Marcombo S.A. 2007.448p.

[2]LACALLE, Alberto, “Funcionalidad no es usabilidad”, <http://albertolacalle.com/hci/funcionalidad-usabilidad.htm>, última visita 12-12-10.

[3]SIDAR, “Pero... ¿Qué es, realmente, la usabilidad?”, <http://www.sidar.org/recur/desdi/traduc/es/visitable/quees/usab.htm>, última visita 12-12-10.

[4]UNIOVIEDO, “Redes para los edificios y la industria. domótica e inteligencia ambiental”, <http://isa.uniovi.es/~sirgo/doctorado/tema4.pdf>. Última visita 13-12-10.

[5]SIEMENS PLM SOFTWARE. Solid Edge. [Programa de diseño asistido por computador]: Versión19. Alemania.2005.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El desarrollo de los modelos ISA 88 parte I, permitieron que el diseño y la implementación del SCADA para el proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca fuera una secuencia simple y coherente de los pasos establecidos que garantizan un correcto funcionamiento del proceso.

La apropiación de la naturaleza del proceso, es decir una profunda familiarización con todos los procedimientos para la realización de la hidrólisis, apoyado en el modelo de control procedimental, permitieron establecer una lógica, que posteriormente se tradujo en la programación empleada en el PLC S7-200 que realiza el control de las variables que intervienen en dicho proceso.

Poseer una excelente herramienta no garantiza la obtención de buenos resultados pues si los usuarios no conocen su funcionamiento esta será subutilizada. Prueba de ello es la celda de proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca, porque aunque se contaba con la instrumentación adecuada los usuarios optaban por desarrollar el proceso de forma manual debido a la falta de guía y capacitación adecuada en el manejo de los equipos de la celda.

El SCADA ha sido considerado tradicionalmente como una herramienta que permite monitorear y visualizar el comportamiento de las variables que intervienen en un determinado proceso, pero para el SCADA diseñado para la celda de proceso de hidrólisis de harina/almidón de yuca de la presente monografía, éste también desarrolla el papel de guía, pues contiene las acciones detalladas que se deben llevar antes, durante y después, para realizar un buen proceso de hidrólisis.

La recopilación de la información primordial a través de un reporte generado tras cada tanda de harina/almidón hidrolizada, permite que los investigadores puedan analizar diversos aspectos que no eran tenidos en cuenta cuando la información era registrada en bitácoras personales sin formato. Todo esto va en beneficio de los procedimientos de escalamiento a nivel industrial que busca el proyecto macro.

La automatización de un proceso implica aparte de conocimientos en instrumentación, control y automatización y normas técnicas, la familiarización estrecha y directa con el proceso, pues solo de este modo las necesidades reales serán vislumbradas, traduciéndose ello en el desarrollo de una solución óptima y funcional.

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

El desarrollo de este trabajo permitirá que los estudiantes e investigadores, pertenecientes a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca, a obtener resultados con formato y orden en los experimentos elaborados para sus correspondientes investigaciones.

Finalmente se debe mencionar que gracias a este trabajo de grado la celda de proceso quedo completamente documentada, mejorada en su equipamiento y los jóvenes investigadores capacitados para aprovechar al máximo las características del equipo.

RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta que existen normas que reglamentan el diseño de puestos de trabajo y considerando que la celda de proceso de hidrólisis de harina y almidón de yuca aun no cumple con estas normas, se sugiere que al menos se tengan en cuenta aspectos básicos que faciliten el trabajo llevado a cabo en esta celda, además se mencionan algunos aspectos que evitan el deterioro de los equipos y tales como:

- El biorreactor debe estar ubicado a una altura que permita una adecuada manipulación de la tapa del biorreactor y una fácil adición de sustancias y reactivos al interior del tanque del biorreactor, pues el hecho de que éste se encuentre demasiado alto incrementa las probabilidades de accidentes y el mal manejo de los equipos.
- El armario debe estar a una distancia prudente del biorreactor, del baño termostataado y de las bombas peristálticas y sumergible, pues éste no debe estar expuesto a líquidos ni sustancias corrosivas que puedan afectar los elementos que se encuentran en su interior.
- Los conectores, terminales y puertos de los instrumentos y equipos deben mantenerse limpios y libres de residuos del proceso, pues la acumulación de tales sustancias en los terminales puede impedir el correcto funcionamiento de éstos, repercutiendo en todo el proceso.
- Debido a que el armario contiene en la parte superior una pantalla táctil, este debe estar ubicado de tal forma que la imagen de la pantalla táctil se pueda observar y manipular fácilmente, es decir que una persona de estatura promedio (1.65 m mujeres y 1.72 m hombres) estando de pie pueda verla y operarla. Actualmente el armario se encuentra sobre un

SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION PARA EL PROCESO DE HIDRÓLISIS DE HARINA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA PRODUCCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A NIVEL INDUSTRIAL

mesón de mármol a una altura a la cual se accede mediante una escalera pequeña.

- Los equipos deben estar protegidos ante cualquier variación de voltaje presente en la red eléctrica.
- Debido a que la tapa del biorreactor se lava una vez se ha realizado el proceso de hidrolisis, se debe tener especial cuidado con los conectores del servomotor, pues fácilmente se pueden mojar. Se sugiere contar con un soplador que permita el secado de la tapa y sus partes asegurando de este modo que accesorios como los conectores queden completamente secos y así se puedan evitar posibles averías por este motivo.
- El transmisor – indicador de pH debe estar ubicado de tal forma que la calibración, es decir el giro de los tornillos que se encuentran en su interior, se lleve a cabo de una forma fácil y segura, pues se requieren movimientos precisos. Actualmente se encuentra a una altura que no permite fácilmente llevar a cabo esta tarea.
- Finalmente es importante que los nuevos y futuros usuarios lean, antes de utilizar la celda y realizar el proceso de hidrolisis, el manual de usuario, ver anexo H, para que se garantice una adecuada capacitación y correcto uso de los equipos y procedimientos realizados en la presente monografía.