

**DISEÑO DE UN PROCESO DE OBTENCIÓN DE ALIMENTO PARA PECES A  
NIVEL INDUSTRIAL EN EL MARCO DEL PROYECTO DE REGALÍAS ID  
VRI 3883 – SGR**



**Carlos Andrés Erazo Pino  
César Airle Sánchez Belalcázar**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL  
INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL**

**POPAYÁN-CAUCA**

**2015**

**DISEÑO DE UN PROCESO DE OBTENCIÓN DE ALIMENTO PARA PECES A  
NIVEL INDUSTRIAL EN EL MARCO DEL PROYECTO DE REGALÍAS ID VRI  
3883 – SGR**



**Monografía presentada como requisito parcial para optar por el título de  
Ingenieros en Automática Industrial**

**Carlos Andrés Erazo Pino  
César Airle Sánchez Belalcázar**

**Director: Ing. Juan Fernando Flórez Marulanda**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL  
INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL  
POPAYÁN-CAUCA**

**2015**

Nota de aceptación \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Firma del Jurado Coordinador

\_\_\_\_\_  
Firma del Jurado

Popayán, Diciembre 2015.

## AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por iluminar y guiarme por el camino que ha trazado para mí. A mi madre Alejandrina Pino y mi padre Julio Cesar Erazo, por su apoyo incondicional en todas las metas que me he propuesto. A mis hermanos Leider Erazo y Ferley Erazo, por ser el ejemplo a seguir. A mi familia por brindarme un ambiente acogedor. A mis compañeros que se han convertido en grandes amigos. A mi director de tesis Ingeniero Juan Fernando Flórez Marulanda por la ayuda y la guía en el desarrollo de este trabajo. Al grupo de investigación ASUBAGROIN por la paciencia y ayuda brindada. A mis tutores en general y a todas aquellas personas que hicieron posible este logro.

**Carlos A. Erazo P.**

A Dios, por ser guía en el sendero de lo sensato, darme fuerza y sabiduría en momentos difíciles. A mi madre Sonia Belalcázar y mi padre Argemiro Sánchez por darme la vida y ayudarme a que lograra escalar este peldaño más en la vida, en especial a mi madre por cada día hacerme ver la vida de una forma diferente y confiar en mis decisiones. A mis compañeros con los que he compartido grandes momentos convirtiéndose en sublimes amigos, A todos mis familiares, por su apoyo. A mi director de tesis Ingeniero Juan Fernando Flórez Marulanda por la ayuda y la guía en el desarrollo de este trabajo. Al grupo de investigación ASUBAGROIN por la paciencia y ayuda brindada. A mis tutores en general y a todas aquellas personas que hicieron posible este proyecto.

**Cesar A. Sánchez B.**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	10
1 CAPÍTULO I.....	12
1.1 INDUSTRIA PESQUERA.....	12
1.1.1 La piscicultura en Colombia .....	15
1.2 ALIMENTO PARA PECES.....	16
1.2.1 Materias primas para la elaboración de una dieta balanceada para peces .....	18
1.3 ENSILAJE DE PESCADO .....	20
1.3.1 Ensilado químico .....	21
1.3.2 Ensilado biológico .....	22
1.4 PROCESO DE EXTRUSIÓN DE ALIMENTO.....	23
1.5 ALTERNATIVAS PARA EL USO DE SUBPRODUCTOS DERIVADOS DE LA AGROINDUSTRIA PISCÍCOLA.....	25
1.6 DESCRIPCIÓN DEL POAP EN LABORATORIO .....	26
1.6.1 Obtención de ensilaje a partir de vísceras de pescado .....	26
1.6.2 Desengrasado y secado del ensilaje.....	29
1.6.3 Formulación de la dieta de alimento concentrado para peces .....	32
1.6.4 Extrusión .....	33
1.6.5 Corte y empaclado de alimento para peces.....	34
1.7 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DEL LABORATORIO .....	35
1.7.1 Equipos en la obtención de ensilaje a partir de vísceras de pescado .....	35
1.7.2 Equipos en el desengrasado y secado del ensilaje.....	36
1.7.3 Equipos en la formulación de dieta de alimento concentrado para peces .....	38
1.7.4 Equipos en la extrusión .....	39
1.7.5 Equipos en el corte y empaclado de alimento para peces.....	39
2 CAPÍTULO II.....	41
2.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DEL POAP.....	41
2.2 MODELADO ISA S-88 DEL POAP .....	44

2.2.1	Modelo de control de proceso del POAP .....	45
2.2.2	Modelo físico del POAP .....	47
2.2.3	Modelo de control de procedimiento del POAP.....	50
2.2.4	Relación entre los modelos ISA S-88.01 .....	53
2.3	DIAGNÓSTICO DEL POAP A NIVEL DE LABORATORIO .....	55
2.3.1	Evaluación del nivel de dificultad en la ejecución de las fases del POAP .....	55
2.3.2	Nivel de automatización del proceso POAP .....	59
2.3.3	Análisis de los modelos ISA S88.01 .....	63
2.3.4	Análisis del proceso POAP en general.....	66
2.4	REQUERIMIENTOS DEL PROCESO POAP .....	69
2.4.1	Requerimientos generales .....	70
2.4.2	Requerimientos de automatización .....	70
2.4.3	Requerimientos de hardware .....	70
3	CAPÍTULO III.....	72
3.1	DEFINICIÓN DEL ESCALAMIENTO DEL POAP A NIVEL INDUSTRIAL	72
3.2	DISTRIBUCIÓN DE PLANTA .....	73
3.2.1	Localización de la planta procesadora de alimento (PPA) .....	74
3.2.2	Distribución de la planta procesadora de alimento.....	76
3.3	REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS .....	80
3.3.1	Tamaño del proyecto.....	80
3.3.2	Selección de los equipos a utilizar en el POAP a nivel industrial .....	81
3.3.3	Costos de los equipos de la PPA .....	87
3.4	MODELADO DE POAP A NIVEL INDUSTRIAL .....	91
3.4.1	Diagrama de flujo de proceso del POAP a nivel industrial .....	91
3.4.2	Descripción conceptual del POAP a nivel industrial .....	95
3.4.3	Modelado ISA S88.01 del POAP a nivel industrial .....	108
4	CONCLUSIONES.....	112
5	RECOMENDACIONES .....	114
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	115

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de obtención de ensilaje químico de pescado.....	22
Figura 2 Diagrama de obtención de ensilaje biológico de pescado. ....	23
Figura 3 Acidificación de vísceras de pescado. ....	27
Figura 4 Recepción de vísceras.....	29
Figura 5 Adición de ácido .....	29
Figura 6 Mezclado de víscera y ácido.....	29
Figura 7 Extracción de aceite sobrenadante.....	31
Figura 8 Separación de aceite y proteína con agua.....	31
Figura 9 Separación de agua y proteína (hidrolizado proteico) .....	31
Figura 10 Pesado de las materias primas.....	33
Figura 11 Mezclado de las materias primas .....	33
Figura 12 Verificado de humedad.....	33
Figura 13 Extrudido de la dieta .....	34
Figura 14 Peletizado del cordón .....	35
Figura 15 Secado de pellets .....	35
Figura 16 Empacado de pellets .....	35
Figura 17 Tanque de plástico.....	36
Figura 18 Báscula .....	36
Figura 19 Máscara antigás .....	36
Figura 20 Balanza de mesa .....	36
Figura 21 Probeta de medición .....	36
Figura 22 Espátula.....	36
Figura 23 Cubeta .....	37
Figura 24 Tamiz No 40 .....	37
Figura 25 Separador líquido – líquido.....	37
Figura 26 Variador de frecuencia.....	37
Figura 27 Horno.....	37
Figura 28 Desecadora .....	38
Figura 29 Mezcladoras .....	38
Figura 30 Refrigerador.....	38
Figura 31 Balanza de humedad.....	38
Figura 32 Extrusor con módulo doble tornillo.....	39
Figura 33 Refrigerador de circulación .....	39
Figura 34 Peletizadora.....	40
Figura 35 Diagrama de flujo de proceso del POAP a nivel de laboratorio .....	44

Figura 36 Modelo de control de proceso.....	45
Figura 37 Modelo físico.....	48
Figura 38 Modelo de control de procedimiento .....	50
Figura 39 Ejemplo de la relación entre los tres modelos de ISA-S88.01 del POAP .....	54
Figura 40 Nivel de dificultad de las fases del POAP según esfuerzo físico .....	57
Figura 41 Nivel de dificultad de las fases del POAP según conocimiento .....	58
Figura 42 Nivel de dificultad de las fases del POAP según riesgo.....	58
Figura 43 Niveles de automatización mediante la relación entre personal, material y equipo .....	60
Figura 44 Nivel de automatización del POAP .....	62
Figura 45 Nivel de automatización de procedimiento de unidad del POAP .....	63
Figura 46 Lote donde se construirá la PPA .....	76
Figura 47 localización satelital de lote donde se construirá la PPA .....	76
Figura 48 Distribución de la planta procesadora de alimento a construir en Silvia (Cauca) .....	78
Figura 49 Diagrama de flujo de proceso del POAP a nivel industrial.....	94
Figura 50 Diagrama P&ID del molino pulverizador modelo 400 PP (STD) .....	97
Figura 51 Diagrama de lazo del molino pulverizador modelo 400 PP (STD) .....	97
Figura 52 Diagrama P&ID de la mezcladora horizontal modelo MH 500/300 .....	98
Figura 53 Diagrama de lazo de la mezcladora horizontal modelo MH 500/300 .....	99
Figura 54 Diagrama P&ID del extrusor double screw extruder LTA85.....	100
Figura 55 Diagrama de lazo del extrusor double screw extruder LTA85 .....	101
Figura 56 Diagrama P&ID del secador mesh belt-type feed pellets dryer.....	103
Figura 57 Diagrama de lazo del secador mesh belt-type feed pellets dryer .....	104
Figura 58 Diagrama P&ID del enfriador de contraflujo modelo SKLN 11.....	106
Figura 59 Diagrama de lazo del enfriador de contraflujo modelo SKLN 11 .....	106

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Entradas y salidas de flujos de materiales del POAP a nivel de laboratorio .....	41
Tabla 2 Modelo de control de procesos del POAP .....	46
Tabla 3 Modelo físico del POAP .....	49
Tabla 4 Modelo de control de procedimiento del POAP .....	51
Tabla 5 Nivel de dificultad de las fases del proceso POAP .....	55
Tabla 6 Nivel de automatización de la fases del POAP .....	61
Tabla 7 Encuesta sobre la documentación del proceso del POAP .....	66
Tabla 8 Encuesta para determinar la necesidad de mejorar algunas de las fases del POAP .....	67
Tabla 9 Encuesta sobre el mantenimiento de equipos del POAP.....	69
Tabla 10 Áreas de la planta procesadora de alimento.....	76
Tabla 11 Cantidad de vísceras y residuos de trucha y tilapia producidos en el municipio de Silvia y la Salvajina .....	80
Tabla 12 Producción de ensilaje a partir de vísceras de pescado .....	80
Tabla 13 Capacidad de producción de alimento utilizando como fuente de proteína ensilaje.....	81
Tabla 14 Ejemplo de aplicación de la fórmula para la selección de equipos .....	84
Tabla 15 Ponderado molino pulverizador marca PULVEX .....	86
Tabla 15 Equipos principales de la PPA.....	86
Tabla 16 Equipos auxiliares de la PPA.....	87
Tabla 17 Costos de Equipos de la PPA .....	87
Tabla 18 Entradas y salidas de flujos de materiales del POAP a nivel industrial...	91
Tabla 19 Descripción conceptual molino pulverizador modelo 400 PP (STD) .....	96
Tabla 20 Descripción conceptual mezcladora horizontal modelo MH 500/300 .....	98
Tabla 21 Descripción conceptual extrusor del double screw extruder LTA85.....	99
Tabla 22 Descripción conceptual del secador mesh belt-type feed pellets dryer.	102
Tabla 23 Descripción conceptual enfriador de contraflujo modelo SKLN 11 .....	105
Tabla 24 Modelo de control de proceso del POAP a nivel industrial.....	108
Tabla 25 Modelo físico del POAP a nivel industrial.....	109
Tabla 26 Modelo de control de procedimiento del POAP a nivel industrial.....	110

## INTRODUCCIÓN

Una de las alternativas que surgió en las últimas décadas para suplir la demanda de pescado y atenuar la captura excesiva fue la piscicultura, cada vez son más los países que están implementando este tipo de cultivos, debido a los beneficios que trae, tales como: protección de especies en vías de extinción por sobrepesca, equilibrio del medio ambiente y aprovechamiento de tierras no aptas para cultivos [1]. A medida que crece la actividad piscícola, se incrementa la cantidad de subproductos no aprovechados como: vísceras, huesos de pescado, escamas y cabezas entre otros. En el departamento del Cauca, la piscicultura ha tenido un auge considerable. Sin embargo, ésta no cuenta con un plan de manejo de los subproductos y por ende son arrojados al entorno, generando proliferación de insectos, bacterias, hongos y malos olores, convirtiéndose en foco de enfermedades para las personas de la zona; en el mejor de los casos estos son enterrados, generando lixiviados que aumentan la contaminación de las cuencas de agua [2].

Para hacer frente a este problema el grupo ASUBRAGROIN de la Universidad del Cauca, en el marco del proyecto “Alternativas para el uso de subproductos derivados de la agroindustria piscícola (ID 3883-SGR)”, dirigido por el profesor titular José Luis Hoyos Concha, realiza una investigación (financiada por el Sistema General de Regalías) sobre la obtención de alimento para peces, aprovechando las vísceras y residuos del deshuese de pescado generados en las industrias pesqueras ubicadas en el municipio de Silvia(Cauca), a los cuales se les realiza un sub-proceso llamado ensilaje de pescado, éste se hace con el fin de obtener la proteína que luego va a ser utilizada en la formulación del alimento para peces buscando reemplazar la harina de pescado.

El grupo de investigación ASUBRAGROIN ha logrado obtener alimento a baja escala para peces a nivel de laboratorio. Sin embargo, es compromiso del grupo,

en el marco del proyecto ID 3883-SGR, plantear un proceso industrial del mismo. Es por esto, que es necesario realizar una propuesta a nivel industrial del proceso de obtención de alimento para peces, que permita el aprovechamiento de los grandes volúmenes de producción de desechos de la industria pesquera del municipio de Silvia y el embalse de la Salvajina.

En este trabajo se hace una propuesta del diseño de la planta de obtención de alimento para peces que se construirá en el municipio de Silvia. Para hacer la propuesta se realiza la descripción del proceso y los equipos a nivel de laboratorio, se hace el diagrama de flujo y se modela con el estándar ISA S88.01, se elabora el diagnóstico y se propone unos requerimientos para el proceso a nivel de laboratorio. Luego se procede a realizar una propuesta de equipos para el funcionamiento de la planta a escala mayor, con esta información se realiza el diseño y modelado del proceso de obtención de alimento para peces a nivel industrial. Por último, se realiza el diagrama de flujo y diagramas P&ID y de lazo y los tres modelos propuestos por el estándar ISA S88.01.

## CAPÍTULO I

**Resumen:** *en este capítulo se hace una introducción a la industria pesquera en general teniendo como objetivo profundizar en la piscicultura y en los insumos de ésta, entre los que se resalta el alimento para peces y las materias primas para su fabricación. Luego se hace una descripción genérica del proceso de ensilaje de pescado y extrusión de alimento y del proceso de obtención de alimento para peces (POAP) en el laboratorio de Biotecnología, en el laboratorio de Reología y empaques de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca, así como la descripción de los equipos utilizados.*

### 1.1 INDUSTRIA PESQUERA

Desde muchos siglos atrás, el hombre ha utilizado la pesca como recurso para satisfacer sus necesidades de alimentación, la cual ha ido creciendo a medida que se van creando instrumentos de captura más sofisticados y vehículos de transporte con mayor capacidad, esto ha transformado a la pesca en una actividad productiva. La producción pesquera mundial ha amentado de forma constante en las últimas décadas, este notable aumento es debido al crecimiento demográfico, aumento de los ingresos y urbanización, además de la introducción de nuevas tecnologías a la actividad pesquera [3].

Para nadie es un secreto que los recursos naturales no son infinitos como antes se suponía, y que hay que buscar otras alternativas para el reemplazo de algunos recursos o la optimización de la explotación de éstos. Una de las alternativas que surgió en las últimas décadas para suplir la demanda de pescado y atenuar la captura excesiva fue la acuicultura. Esta biotecnia ha permitido convertir ríos, lagunas, lagos y áreas costeras en una fuente de recursos acuáticos, aumentando la disponibilidad de alimentos.

La acuicultura en términos generales se define como el conjunto de actividades encaminadas al cultivo de especies acuáticas. La producción, crecimiento y comercialización de organismos de aguas dulces, salobres y saladas, útiles para el consumo. Los cultivos acuícolas implican la repetición parcial o total del ciclo biológico natural de aquellas especies acuáticas seleccionadas. Estas prácticas se inician a partir de distintas fases del ciclo biológico dependiendo del tipo de cultivo. Los cultivos se desarrollan mediante el control de los organismos y el ambiente (medio acuático) [4].

La acuicultura está en auge y cada vez son más los países que están implementando este tipo de cultivos, debido a los beneficios que ésta trae, tales como: protección de especies en vías de extinción producto de la sobrepesca, equilibrio del medio ambiente, aprovechamiento de tierras no aptas para cultivos; además, es una fuente de empleo y apoyo a la economía de los países, ayudando a suplir la demanda de productos acuícolas.

**Tipos de acuicultura:** los cultivos de tipo acuático generalmente se clasifican según, densidad del cultivo, el hábitat y la especie, así:

Según el hábitat se clasifica en:

- **Acuicultura continental (de agua dulce):** es aquella que se desarrolla en un ambiente rodeado por tierra y el agua utilizada para ésta es dulce. Preferiblemente se utiliza suelos impermeables como: lodosos, pantanosos, los cuales generalmente no son útiles para la agricultura. También son utilizados cuerpos de agua naturales como lagunas, lagos o ríos.
- **Acuicultura marina (maricultura):** es la actividad realizada para el cultivo de especies marinas, ésta es realizada en las costas, bien sea por medio de la construcción de estanques en las zonas inter mareales o por la utilización de jaulas.

Dentro de la acuicultura existen cultivos especializados como la piscicultura, ésta consiste en la cría controlada de peces en cuerpos de agua (estanques, lagunas,

lagos, embalses, etc), con la finalidad de lograr excelentes resultados productivos, económicos, nutricionales y reproductivos [5].

En toda actividad productiva existen eslabones de proceso que cumplen una o varias funciones específicas para obtener un subproducto o producto final. En la piscicultura se han identificado cinco (5):

- Insumos
- Laboratorios de producción de alevinos
- Fincas de cultivos
- Plantas de proceso
- Comercializadores

Es de interés para el desarrollo del presente trabajo abordar el primer y cuarto eslabón.

- **Insumos**

Los insumos utilizados en la piscicultura son diversos, sin embargo se han asociado en tres grandes grupos:

- Desinfectantes y fertilizantes:** los desinfectantes se utilizan cada vez que se va a dar comienzo a un nuevo ciclo de producción; se realiza un desinfectado de los estanques con insumos como la cal. Los fertilizantes inorgánicos como el potasio, fósforo y nitrógeno, se utilizan para la producción de microalgas y fitoplancton. En la etapa de cultivo también se utilizan fertilizantes orgánicos.
- Alimento:** cuando se cultivan organismos acuáticos en cautiverio, se debe reemplazar el alimento natural por una dieta artificial que reúna las necesidades nutricionales; esto según las características fisiológicas de cada especie.
- Empaques e hielo:** los pequeños y medianos acuicultores usan sacos de polipropileno y bolsas plásticas para empaquetar el pescado que se comercializa entero, eviscerado y descamado. Otro insumo es el hielo, utilizado para conservar el pescado fresco, aunque algunas plantas cuentan con cuartos fríos [9].

- **Plantas de proceso**

Generalmente en la mayoría de fincas piscícolas el pescado se vende entero. Sin embargo, algunas poseen plantas de proceso, en las que se realiza el deshuese y manejo de la pos-cosecha del pescado, remoción de branquias, descamado, eviscerado, y otras actividades que permiten entregar el pescado listo para el consumo.

### **1.1.1 La piscicultura en Colombia**

Colombia es un país tropical con gran cantidad de cuencas hidrográficas que lo posicionan entre los países más ricos del mundo en recursos hídricos; posee uno de los más altos índices de biodiversidad del planeta, y una gran cantidad de especies de peces. El país cuenta con múltiples sistemas hidrológicos diversificados en cuerpos de agua dulce, salobres y marinos, con una gran variedad de pisos térmicos con características climáticas estables a lo largo del año. Por lo tanto, la pesca hace parte de la economía de cientos de familias riverenas, que han encontrado en esta actividad una forma de sustento y seguridad alimentaria para sus miembros [6].

La piscicultura en Colombia se inició a finales de la década de los treinta del siglo pasado, cuando fue introducida la trucha arco iris *Onchorhynchus mykiss*, con el fin de repoblar las lagunas de aguas frías de la región andina con una especie de mayor valor económico que las nativas. Posteriormente, a finales de la década de los setenta se introdujo la tilapia *Oreochromis sp*, y a principios de la década de los ochenta se iniciaron trabajos con algunas especies nativas, principalmente con la cachama blanca *Piaractus brachypomus* y negra *Colossoma macropomum*, con el objetivo de fomentar actividades encaminadas a diversificar las fuentes de ingreso de los pequeños productores campesinos [1].

La actividad piscícola tuvo un crecimiento acelerado entre la década de los ochenta y la primera década del siglo XXI, éste se ha desarrollado de una forma desordenada, descoordinada y sin una planificación adecuada, razón por la cual,

los acuicultores han tenido problemas de orden técnico, económico y ambiental [1]. La producción de la acuicultura nacional para el 2011 fué de 82.733 toneladas, de las cuales más de la mitad correspondió a tilapia roja y plateada, el 20% a cachama blanca y negra, cerca de un 7% a trucha, 10% a camarón, 0.13% a *cobia* *Rachycentrum canadum* y el resto a otras especies nativas y exóticas. Muchos de los productos son exportados principalmente a la Unión Europea. En el 2008 las exportaciones ascendieron hasta un 50% [6].

A finales de los años setenta en el departamento del Cauca se empezaron a explotar los recursos hídricos montando centros piscícolas, desde entonces se ha notado un gran potencial de producción piscícola gracias a la riqueza hídrica con que se cuenta. Aunque los aportes no son tan representativos en la producción nacional, se han llevado a cabo cultivos que permiten abastecer las diferentes regiones del Departamento [7]. La actividad piscícola se desarrolla en lagos artificiales, ríos o en embalses como es el caso de la Salvagina (Morales-Cauca), en donde se cultivan peces en módulos flotantes (jaulas) a pequeña escala. Hoy, sólo en Silvia (Cauca), hay 160 unidades productivas de trucha. Sin embargo, las plantas de proceso están dejando desechos, por lo cual se hace prioritario atender de forma preventiva el manejo de éstos [8].

## **1.2 ALIMENTO PARA PECES**

El alimento es un insumo importante dentro del proceso de producción de peces en cautiverio. El avance de la piscicultura semi-intensiva e intensiva ha forzado el desarrollo de patrones de alimentación cada vez más eficientes, basados en los requerimientos nutricionales de cada una de las especies a cultivar, con el fin que el animal presente un crecimiento adecuado en el menor tiempo y a bajo costo. El alimento suministrado debe poseer características nutricionales óptimas, tanto en la industria productora de alimento para peces como de otras especies animales, por lo que materias primas, proceso productivo y almacenamiento del producto deben estar sometidos a estrictos controles de calidad. La calidad del alimento

está considerada como uno de los factores de mayor influencia en el éxito de un cultivo. Éste depende en primer lugar de la calidad de los ingredientes utilizados en la preparación, como también del tipo de procesamiento al que se sometan antes y durante la producción. Adicionalmente, el cuidado que se tenga para almacenar tanto ingredientes como alimento terminado, influirá notablemente en sus propiedades nutritivas [9].

Al inicio de la piscicultura mundial, y hasta hace poco, los alimentos comerciales provistos para peces tradicionalmente incluían, como fuente de proteína y grasas, harina y aceites de pescado obtenidos en las pesqueras, al igual que dietas de animales terrestres. Con el rápido crecimiento de la piscicultura aumentó la necesidad de una mayor cantidad de estos productos y subproductos para ser incluidos en las dietas balanceadas de las especies acuícolas bajo cultivo. Por otro lado, el abastecimiento de esos productos disminuía desde las pesqueras; esto ocasionó mayor presión sobre los precios que aumentaron a medida que la demanda de subproductos crecía. Esta situación mostró hace pocos años que era imprescindible una mayor investigación para el reemplazo parcial o total de la harina de pescado, si se deseaba un desarrollo acuícola económicamente sustentable en el tiempo y amigable con la naturaleza [10].

Dentro de la elaboración del alimento es de vital importancia realizar una formulación balanceada, ésta se calcula a partir de una serie de materias primas, una combinación o mezcla que cubra los requerimientos nutricionales de la especie a la cual va dirigido dicho alimento a un costo bajo, con la finalidad que la crianza sea más rentable [11]. La utilización de alimentos balanceados para animales surgió de la necesidad de lograr mayor rendimiento en un menor tiempo, y de esta manera mejorar la rentabilidad de los proyectos de crianza. La elaboración de una dieta artificial para peces tiene dos etapas principales en su conjunto: la formulación y el proceso de fabricación.

La formulación de dietas para peces o cualquier otro animal criado de forma intensiva, es la parte más importante dentro de la producción de alimento, es por

esto que se debe tener bastante información acerca de las condiciones naturales de alimentación y el sistema digestivo de la especie, además de la información de las materias primas que se disponen para realizar dichas dietas.

### **1.2.1 Materias primas para la elaboración de una dieta balanceada para peces**

Estas varían dependiendo de la especie y el lugar donde se desarrolla la formulación de la dieta, debido a que se pretende reducir los costos de producción de alimento. A continuación, se listan las materias primas más utilizadas que se encuentran disponibles en el departamento del Cauca.

- **Harina de yuca:** producto obtenido a través del proceso de molienda y tamizado de trozos secos de yuca. Las raíces de yuca son lavadas para retirar las impurezas y la cascarilla para luego ser troceadas en una picadora. Los trozos son secados al sol o artificialmente y una vez secos son molidos y tamizados para obtener la harina [12].
- **Harina de pescado:** producto obtenido del procesamiento de pescados, eliminando su contenido de agua y aceite. Se produce de la captura de peces para los cuales existe poca o ninguna demanda para el consumo humano y también de desechos de pescado generados durante el procesamiento de deshuese.

La harina de pescado es presentada generalmente en forma de un polvo color marrón, compuesto normalmente entre 60% y 72% de proteína, 5% y 12% de grasa y 10% y 20% de ceniza. Los productores proveen detalles del tipo de materia prima utilizada y del contenido típico de nutrientes [13].

- **Harina de maíz:** es una harina fina de color amarillo que se obtiene de la molienda del grano de maíz, después que el germen y las capas exteriores han sido removidas. La Harina de maíz, se utiliza como ingrediente para múltiples preparaciones. Es de consistencia suave y de fácil digestión [14].
- **Harina de trigo:** es el polvo que se obtiene de la molienda del grano de trigo maduro, entero o quebrado, limpio, sano y seco, en el que se elimina

gran parte de la cascarilla (salvado) y el germen. El resto se tritura hasta obtener un grano de finura adecuada. Ésta contiene entre un 65% y 70% de almidones, pero su valor nutritivo fundamental está en el contenido de proteína, entre el 9% y 14%; siendo las más importantes la gliadina y la gluteína, además de contener otros componentes como celulosa, grasos y azúcar [15].

- **Torta de soya:** subproducto del procesamiento del frijol de soya obtenido de la molienda de las hojuelas después de haberle extraído el aceite por un método de extracción mecánica o por solvente. Existen dos clasificaciones generales de la torta de soya: la torta de 44% de proteína con cascarilla y la torta de 48 % de proteína que no contiene cascarilla [16].
- **Núcleo vitamínico:** mezcla de vitaminas, minerales y aminoácidos esenciales, se viene realizando desde hace muchos años dentro de la industria de los alimentos dado a que aporta muchas de las vitaminas que las materias primas no tienen o se ha disminuido el porcentaje debido al proceso o almacenamiento perdiendo o disminuyendo sus cualidades nutritivas [17].
- **Carbonato de calcio:** suplemento alimenticio obtenido por molienda fina de calizas extremadamente puras, usado cuando la cantidad de calcio consumido a través del régimen alimenticio no es suficiente [18].
- **Bentonita:** arcilla de origen natural usada generalmente con fines medicinales y cosméticos debido a la alta cantidad de minerales que contiene. Se suele presentar en forma de polvo, algo granuloso, y su color crema a café claro o gris puede variar ligeramente [19].
- **Sal** (cloruro de sodio): conocido como sal común, es un compuesto químico cuando el NaCl se encuentra en su forma mineral. Es una sustancia blanca, cristalina, soluble en el agua, que abunda en la naturaleza en forma de grandes masas sólidas o disuelta en el agua del mar y en algunas lagunas y manantiales. Se emplea como condimento, para conservar y preparar alimentos, para la obtención del sodio y sus

compuestos, generalmente se presenta en polvo de cristales pequeños [20].

- **Gluten de maíz:** es un concentrado de proteína altamente digestible en todas las especies animales. Se obtiene en el fraccionamiento del grano de maíz por vía húmeda [21].
- **Salvado de maíz:** subproductos obtenidos del procesamiento del grano de maíz por vía seca, luego de tamizar la harina producto de la molienda, compuesto principalmente por las envolturas y el capuchón (aprox. 13% del grano) [22].
- **Melaza (miel de purga):** sustancia espesa, dulce y de color oscuro que queda como residuo de la cristalización del azúcar de caña. Se emplea comúnmente como alimento y fuente de energía, su mayor limitante es su efecto laxante [23].
- **Aceite de palma:** es un aceite de origen vegetal obtenido del mesocarpio del fruto de la palma de aceite. Es una grasa en forma líquida o semisólida, de acuerdo con la temperatura ambiente, que contiene aproximadamente 50% de ácidos grasos saturados, 40% de ácidos grasos monoinsaturados y 10 % de ácidos grasos poli-insaturados [24]
- **Mogolla:** Derivado de la molienda del trigo, constituido por las partículas provenientes de las diferentes capas del pericarpio del trigo [25].

### 1.3 ENSILAJE DE PESCADO

Con el desarrollo de la industria pesquera a nivel artesanal e industrial, se genera una gran cantidad de residuos, los cuales representan alrededor de 29 millones de toneladas de desechos a nivel mundial [26]. Ocasionalmente de esta manera el desperdicio de proteína de alta calidad, siendo éstos aprovechados a partir de distintas técnicas de tratamiento, principalmente en la elaboración de harina de pescado, ensilado y fertilizantes. Dentro del aprovechamiento más sustentable se

encuentra la producción de ensilado de pescado para la elaboración de alimentos para aves, ganado y peces.

El ensilado de pescado se define como un producto líquido pastoso hecho a partir de pescado entero o partes de éste en medio ácido, es utilizado como alternativa de procesamiento de los desperdicios de plantas pesqueras y que pueden ser componentes de raciones alimenticias para animales [27].

En términos generales el ensilaje de pescado se hace a base de residuos de pescado, conservados con ácidos orgánicos, inorgánicos o mediante la fermentación láctica de un sustrato de carbohidratos que se les añade. La tecnología se conoce desde hace algún tiempo, pero la aplicación comercial no se ha extendido debido a sus costos de logística y sustitución, frente a otras fuentes de proteínas y otros métodos de elaboración. Aunque en el ensilaje de pescado se produce cierta hidrólisis<sup>1</sup> de las proteínas para formar péptidos<sup>2</sup> y aminoácidos<sup>3</sup>, el valor nutritivo de la materia prima se mantiene y se puede utilizar para sustituir fuentes tradicionales de proteínas [28].

Hoy en día existen diferentes técnicas para la obtención de ensilado, la primera de ellas, consiste en la adición inicial de ácidos a la mezcla (ensilado químico); la otra utiliza la capacidad que tienen algunos microorganismos de producir sustancias ácidas (ensilado biológico).

### **1.3.1 Ensilado químico**

Se adiciona ácidos minerales y/u orgánicos, para esto, se emplea el ácido fórmico, sulfúrico, clorhídrico, propiónico o combinados como: mezclas de acético, fórmico y fosfórico; fórmico y sulfúrico o propiónico y sulfúrico. La materia prima se tritura, se le agrega el o los ácidos y se mezclan completamente, para que las enzimas presentes en el mismo puedan digerirlo en las condiciones favorables que el

---

<sup>1</sup> Hidrólisis: es una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química.

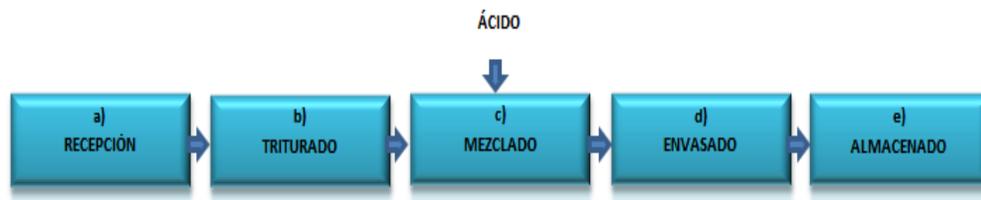
<sup>2</sup> Péptidos: son moléculas formadas por la unión de dos o más aminoácidos

<sup>3</sup> Aminoácidos: son compuestos orgánicos que se combinan para formar proteínas.

medio ácido provee. Se prefiere la utilización de ácido fórmico ya que asegura la conservación sin descenso excesivo del pH, lo que a su vez, evita la etapa de neutralización del producto antes de su empleo en la alimentación animal [27].

En la preparación del ensilaje químico se realiza las siguientes etapas: a) recepción de los insumos y equipos necesarios para realizar el proceso, b) triturado de vísceras y huesos en un molino de cárnicos, adicionando ácido (bien sea fórmico, acético, propiónico, sulfúrico, clorhídrico o combinaciones de éstos) al material molido, c) mezclado del material molido con los ácidos, d) envasado en recipientes plásticos e) finalmente se almacena (ver Figura 1).

**Figura 1 Diagrama de obtención de ensilaje químico de pescado**



Elaboración propia, Mayo de 2015.

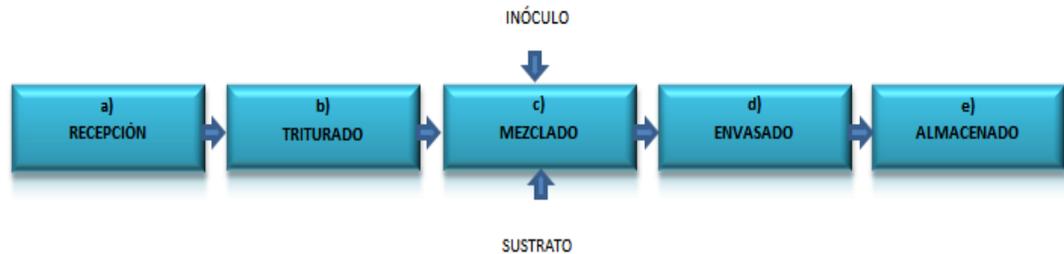
### 1.3.2 Ensilado biológico

En el ensilado microbiano o biológico se le agrega al pescado una fuente de carbono y un microorganismo capaz de utilizar el substrato y producir ácido láctico. Se han estudiado diferentes fuentes de carbono tales como harinas de maíz, avena, cebada, malteada, arroz, yuca, azúcar, melaza, etc. y distintos organismos productores de ácido láctico como: *Lactobacillus plantarum*, *Hansenula montevideo*, bacterias lácticas del yogur y fermentos biológicos preparados con variedades de frutas y hortalizas como repollo, papaya, banana, piña y yuca [27] [28].

En la preparación del ensilaje biológico se realiza las siguientes etapas: a) recepción de los insumos y equipos necesarios para realizar el proceso, b) triturado de vísceras y huesos en un molino de cárnicos, c) mezclado del material

molido con el sustrato e inóculo, d) envasado en recipientes plásticos, e) por último se realiza el almacenamiento (ver Figura 2).

**Figura 2 Diagrama de obtención de ensilaje biológico de pescado.**



Fuente propia, mayo de 2015

## 1.4 PROCESO DE EXTRUSIÓN DE ALIMENTO

El proceso de extrusión de alimentos consiste en una cocción rápida, continua y homogénea de las materias primas utilizando como equipo principal un extrusor. Es un proceso de inducción de energía térmica y mecánica que se aplica al alimento procesado a alta presión y temperatura durante un breve espacio de tiempo, lo que conlleva a una serie de cambios en la forma, estructura y composición del alimento, obteniendo un cordón extrudido con un diámetro aproximado de 6 mm que luego es cortado en trozos (*pellets*) con un tamaño de 1 cm aproximadamente [29].

Esta técnica se emplea generalmente para el procesamiento de cereales y proteínas destinados a la alimentación humana o animal. Así mismo, se trata de un proceso que opera de forma continua, de gran versatilidad y alto rendimiento productivo. Sus beneficios le han permitido consolidarse como una técnica indispensable dentro de la industria de piensos y concentrados, al permitir mejorar la digestibilidad y otros aspectos nutricionales. Durante el proceso de extrusión, el pienso y sus constituyentes moleculares están sujetos a una sucesión de

tratamientos casi instantáneos. Para esto, se configura en el extrusor la velocidad de rotación de la hélice y se acondiciona el material antes de realizar el proceso.

Existen procesos alternos a la extrusión como el proceso de granulado y expansión. En el granulado se garantiza un menor desperdicio de alimento y agregación de ingredientes y nutrientes, contribuyendo una mayor densidad y digestibilidad de los nutrientes que permite reducir el tiempo de ingestión [30]. En la expansión se mejora la calidad del gránulo aumentando la entrada de energía antes de la granulación. Para eso se incluye un pre acondicionamiento con vapor que hidrata y calienta la masa de alimento con un expander<sup>4</sup> que produce calor adicional antes de la granulación. Para alcanzar la temperatura suficiente que gelatinice el almidón y conseguir la pasteurización del producto se requiere una cantidad de energía que depende de la eficacia de la instalación y de la capacidad del proceso para transferir energía al producto, para lo cual normalmente se usan grandes motores eléctricos [30].

El proceso de extrusión ofrece condiciones favorables en la obtención de alimento para peces. Este proceso permite el control de la expansión final sobre el alimento, normalizando su volumen para regular la velocidad de hundimiento (flotable, lentamente hundible o hundible) y permitir que el pellet no sea soluble fácilmente en agua. Esto representa en el pellet un factor importante para evaluar la favorabilidad de los alimentos usados en nutrición acuícola. Por lo cual, la extrusión junto con otros procesos adicionales, representa una valiosa técnica para conseguir un alimento estable en agua, sin producir residuos, minimizando los costos de proceso.

Finalmente, con la extrusión existe la posibilidad de revestir el producto con grasa hasta en un 30%, como una considerable mejora del valor nutricional de los alimentos, observando un crecimiento rápido y mejor conversión alimenticia [31], por ejemplo la producción y obtención de productos para alimentación animal

---

<sup>4</sup> Expander: acondicionadores STHT (corto tiempo alta temperatura), es un tubo mezclador de pared gruesa, está equipado con un eje apoyado en un punto. En este eje están montados elementos para mezclar y amasar.

como peces y camarones. En estudios y resultados previos obtenidos por Pantoja [32], se abordó la incorporación de ensilaje biológico de residuos de la agroindustria piscícola, en dietas para peces en la fase de engorde. Se estudió el efecto de la incorporación de hidrolizado de pescado en mezclas con harina de arroz, empleando para ello un extrusor de doble tornillo. Este efecto influye en la viscosidad del material y disminuye los requerimientos de energía mecánica específica. Así mismo, se implementa la extrusión de doble tornillo para la obtención de productos con características óptimas que permiten análisis de los cambios físico-químicos y nutricionales [33].

## **1.5 ALTERNATIVAS PARA EL USO DE SUBPRODUCTOS DERIVADOS DE LA AGROINDUSTRIA PISCÍCOLA**

En el Cauca, la actividad piscícola se ha ido incrementando, y como es de esperarse, también ha aumentado la cantidad de desechos producto del deshuese de pescado tales como: vísceras, huesos, escamas y cabezas. La actividad piscícola no presenta un plan para el manejo de estos subproductos y por ende son arrojados en lugares cerca de las viviendas, generando proliferación de insectos, bacterias, hongos y malos olores, convirtiéndose en foco de enfermedades para las personas de la zona. En el mejor de los casos son enterrados, sin embargo los lixiviados aumentan la contaminación de suelos y fuentes de agua. Al existir una alta producción de subproductos resultantes de la actividad piscícola, se requieren estrategias de disposición u optimización de los mismos, para evitar el deterioro ambiental y propagación de enfermedades [2].

Por otra parte, el desarrollo sostenible de la piscicultura intensiva está basado en la alimentación balanceada de los peces. El alimento es un insumo crítico e importante en este tipo industria, representa entre el 40% y el 60% de los costos totales de producción; el precio del alimento tiende al alza debido a la alta demanda de éstos por el incremento de cultivos piscícolas [34]. El esfuerzo de reducir costos debidos a la alimentación, da paso a la necesidad de trabajar en el

fortalecimiento de prácticas amigables con el medio ambiente, que no sólo disminuyan los efectos adversos de la inadecuada disposición de desechos, sino que aumenten la competitividad de la cadena piscícola en la región disminuyendo costos de producción.

El grupo de investigación ASUBRAGROIN de la Universidad del Cauca, en el marco del proyecto “alternativas para el uso de subproductos derivados de la agroindustria piscícola ID 3883-SGR”, dirigido por el profesor José Luis Hoyos Concha, realiza una investigación para el aprovechamiento de los subproductos de la agroindustria piscícola; con el objetivo de utilizar los desechos producto del deshuese de pescado. ASUBRAGROIN ha venido investigando la forma de cómo hacer uso de dichos subproductos, enfocándose en dos productos obtenidos a partir del ensilaje de las vísceras de pescado, el aceite de pescado y las proteínas. Para este trabajo de grado es de interés las proteínas que son utilizadas como una de las materias primas para el Proceso de Obtención de Alimento para Peces (POAP).

## **1.6 DESCRIPCIÓN DEL POAP EN LABORATORIO**

A continuación se describe el proceso de obtención de alimento extrudido para peces desarrollado en el laboratorio de Biotecnología y en el de Reología y empaques, basados en los informes facilitados por el grupo ASUBRAGROIN y la observación del proceso. Éste se divide en cinco (5) subprocesos los cuales se detallan a continuación.

### **1.6.1 Obtención de ensilaje a partir de vísceras de pescado**

El grupo de investigación utiliza el ensilaje como una estrategia para el aprovechamiento de los desechos del deshuese del pescado, que consiste en realizar un procedimiento de conservación de las vísceras con ácidos o mediante la fermentación láctica (ver Figura 3).

Este sub-proceso se realiza simulando dos temperaturas, 10 °C (Temperatura de Silvia) y 25 °C (Temperatura de La Salvajina) que son los lugares donde están las piscifactorías<sup>5</sup> y donde se haría el procesamiento de vísceras de pescado.

**Figura 3 Acidificación de vísceras de pescado.**



**Fuente propia, Mayo de 2015**

Los desechos generados en las plantas de procesamiento de pescado pueden ser: vísceras como es el caso de la planta de la Salvajina (SALVAJINA SAT), o vísceras más huesos como es el caso de la planta de Silvia (APROPESCA), esto depende del tipo de pescado a procesar y del producto final a obtener, si es pescado entero o filete de pescado, es por esto que el grupo de investigación hace el proceso de ensilaje con dos matrices:

Matriz 1: vísceras.

Matriz 2: vísceras y huesos en una relación de 2,125 Kg de vísceras por cada kilogramo de huesos, que es la proporción de vísceras y huesos del pez.

Las vísceras son traídas desde las piscifactorías ubicadas en Silvia o La Salvajina, éstas son transportadas hasta la ciudad de Popayán (Cauca) en camionetas a una distancia de 60 Km en promedio en el caso de Silvia y 80 Km en el caso de La Salvajina, el tiempo utilizado es de 2 horas y 2,5 horas respectivamente. Las vísceras son transportadas sin ningún método para conservar la temperatura, en

---

<sup>5</sup> Piscifactoría: son instalaciones dedicadas a la cría de peces para el consumo.

recipientes plásticos con capacidad de 60 a 70 litros, los recipientes se tapan y se aseguran con un zuncho para que no se derrame su contenido en el transporte.

Como se presentó en el ítem 1.3, el ensilaje se puede desarrollar de dos formas, ensilaje biológico o ensilaje químico. Luego de muchas pruebas en el laboratorio el grupo de investigación optó por realizar ensilaje químico.

### **Descripción de la obtención de ensilaje químico**

Para una mayor comprensión, el sub-proceso se dividirá en operaciones de la siguiente manera:

- a) **Recepción de vísceras de pescado:** se recibe las vísceras o vísceras más huesos según sea (matriz 1 ó matriz 2) (ver Figura 4), luego de descargar los recipientes con vísceras se procede a transportarlos hacia la planta piloto de cárnicos donde se encuentra una báscula donde se realiza el cálculo de la masa y se apunta en una hoja de registro. Luego las vísceras son transportadas hasta el laboratorio de Biotecnología donde se realizará el ensilado.
- b) **Acidificado de vísceras de pescado:** si los recipientes donde se transporta las vísceras no tiene un 30% de su volumen libre, se procede a quitar la cantidad de vísceras necesarias para cumplir con este porcentaje, dado que el proceso de acidificación necesita aireación por la cantidad de vapores que se genera en el proceso. Se procede a calcular y registrar la masa de las vísceras (entre 45 y 50 Kg), se mide la cantidad de ácido fórmico a utilizar como fuente de conservación en una proporción del 2,5% de la masa total pesada de vísceras a procesar y se vacía sobre éstas (ver Figuras 5). El operario que realiza esta acción debe utilizar máscara antigás para no inhalar los vapores que se desprenden.

Las vísceras en un principio presentan un color rojizo, cuando se le adiciona el ácido cambian de color (café), con una espátula de madera se mezcla el ácido con las vísceras hasta que todas se tornen del mismo color

(ver Figura 6), luego se almacena en un cuarto frío o a temperatura ambiente según sea el ambiente a simular (Silvia o La Salvajina) durante 5 días.

**Figura 4 Recepción de vísceras**



**Figura 5 Adición de ácido**



**Figura 6 Mezclado de víscera y ácido**



Fuente propia, Mayo de 2015

### 1.6.2 Desengrasado y secado del ensilaje

El producto obtenido del ensilaje es una mezcla entre proteínas, agua, aceite y residuos sólidos (piedras, algas y raíces) que se encuentran dentro de las vísceras del pescado; como la parte que se utiliza para realizar la dieta es la proteína, se hace necesario separar de ella los otros componentes.

#### Descripción del desengrasado y secado del ensilaje [35].

- a) **Extraído de aceite sobrenadante:** a partir del quinto día de acidificación, el operario procede a extraer de forma manual con un recipiente (cubeta) el aceite sobrenadante presente en el ensilaje (17 % del ensilaje total) (ver Figura 7), hasta el punto donde se comience a retirar otra sustancia diferente y se registra el peso del aceite extraído.
- b) **Filtrado de ensilaje:** una vez retirado el aceite de la superficie, se procede a filtrar el ensilaje por medio de un tamiz número 40 de forma manual para retirar residuos sólidos (5.77% del ensilaje total), garantizando que al pasar

el ensilaje por una máquina separadora líquido – líquido las salidas de ésta no se obstruyan, con el propósito de evitar un posible daño de la máquina. Luego de retirar los residuos sólidos se procede a medir y registrar la masa de éstos en una balanza de mesa. El filtrado de 50 Kg de mezcla dura cerca de 3 horas, el procedimiento se hace fuera del laboratorio debido a que el olor del ensilaje es fuerte y se requiere de un lugar aireado, además que al realizar este procedimiento se generan salpicaduras y derrame del ensilado.

- c) **Separado de hidrolizado proteico y aceite:** Luego de haber extraído los sólidos, se realiza una extracción fina de aceite (3,8% del ensilaje total), manteniendo como parámetros preestablecidos una frecuencia de 70 Hz y un flujo de 0,066 l/min equivalentes a 1 litro de separación en 15 minutos. Se procede a introducir a la máquina separadora líquido – líquido el ensilaje por una de sus entradas, para que a través de su función de centrifugado separe los residuos de aceite retirándolos por una de sus salidas (material liviano) y por la otra una mezcla de agua con proteínas o hidrolizado proteico (material pesado) con residuos de aceite en un bajo porcentaje (ver Figura 8), estos dos subproductos se recolectan en dos recipientes, uno para cada subproducto y se realiza el cálculo de la masa.

Dado a que el material procesado (ensilaje) no es netamente líquido, el operario debe desarmar parte de la máquina por cada 1 Kg de ensilaje procesado, para realizar limpieza de las boquillas de salida debido a su obstrucción.

- d) **Secado del hidrolizado proteico:** para el proceso de secado de ensilaje se utilizan dos hornos con circulación de aire caliente, éstos tienen bandejas internas con capacidad para procesar una libra de ensilaje en cada horno. Luego de disminuir el porcentaje de aceite al ensilaje, se procede a medir y verter el hidrolizado proteico en bandejas metálicas previamente acondicionadas con bolsas plásticas, depositando en cada bandeja entre 45 a 50 g, las bolsas se disponen con el fin de agilizar y

reducir el desperdicio de la recolección de la proteína seca. Se procede a secar el hidrolizado proteico por medio de la evaporación de agua, este procedimiento se realiza a una temperatura de 70 °C durante 16 horas hasta obtener un 6 % de humedad obteniendo cerca de 10 g de pasta seca de proteína por bandeja (ver Figura 9).

Luego de transcurrir 16 horas se procede a retirar las bandejas del horno y retirar la pasta seca de proteína, ésta se empaqa en bolsas herméticas y se almacena en una desecadora.

**Figura 7 Extracción de aceite sobrenadante**



**Figura 8 Separación de aceite y proteína con agua**



**Figura 9 Separación de agua y proteína (hidrolizado proteico)**



Fuente propia, Mayo de 2015

### 1.6.3 Formulación de la dieta de alimento concentrado para peces

La formulación y elaboración de dietas balanceadas tiene como objetivo realizar una combinación de materias primas e insumos alimenticios, que suplan los requerimientos nutricionales de los peces en sus diferentes etapas de desarrollo, éstos deben de satisfacer las necesidades físicas y fisiológicas de crecimiento, desarrollo y conservación.

#### Descripción de la formulación de la dieta de alimento concentrado.

- a) **Pesado de las materias primas:** antes de realizar el pesado de las materias primas, se realiza la fórmula de la dieta y el cómputo de la cantidad a agregar de las materias primas en una hoja de cálculo (Excel), ésta depende de la cantidad del *batch* a producir. Como el objetivo es reemplazar la harina de pescado por la harina proteica, se realiza 3 o 4 *batch* con diferentes porcentajes de estas dos materias primas, reduciendo el uso de la harina de pescado.

Se verifica las características (grasa y proteína) de las materias primas y se registra, luego, de acuerdo a los porcentajes establecidos se pesa la harina proteica, la harina de pescado, la harina de trigo, la harina de maíz, la torta de soya, la harina de yuca, el núcleo vitamínico, el gluten de maíz, el salvado de maíz, la melaza, el aceite de palma y la mogolla, luego se pesan los aditivos (el carbonato de calcio, la bentonita, y la sal) (ver Figura 10).

- b) **Mezclado de las materias primas:** se mezclan las materias primas por un tiempo de 10 minutos en agitación constante, luego se mezclan los aditivos (el carbonato de calcio, la bentonita, y la sal) entre sí, se adicionan a la mezcla de harinas obtenida previamente y se homogeniza durante 5 minutos (ver Figura 11).
- c) **Verificado de humedad:** se procede a medir el porcentaje de humedad de la mezcla, se realiza debido a que el extrusor del laboratorio no posee un sistema de lubricación, por ende se hace necesario introducir la mezcla a

una humedad específica (ver Figura 12). Con los porcentajes obtenidos se realiza un balance de humedad con el objetivo de determinar la cantidad de agua necesaria para alcanzar los niveles de humedad requerida, una vez obtenida esta información, se procede a agregar el agua la cual se adiciona por aspersión y se mezcla la dieta. Por último se empaca la dieta en bolsas herméticas para garantizar las condiciones de humedad.

- d) **Madurado de la dieta:** se ingresa la dieta empacada en un refrigerador para que realice el proceso de maduración durante 12 horas.

**Figura 10 Pesado de las materias primas**



**Figura 11 Mezclado de las materias primas**



**Figura 12 Verificado de humedad**



Fuente propia, Mayo de 2015

#### 1.6.4 Extrusión

En esta etapa, un operario realiza el armado del módulo de extrusión (El armado del módulo de extrusión se encuentra en el Anexo A) y se introducen los parámetros de temperatura y revoluciones de los tornillos del extrusor.

**Extrudido de la dieta:** una vez establecidos los perfiles de temperatura y las revoluciones de los tornillos, se procede a alimentar la tolva, al pasar la mezcla a través del extrusor se obtiene a la salida un cordón de alimento extrudido que es recolectado en bandejas (ver Figura 13).

Inmediatamente después de realizar el proceso de extrusión, se procede a desarmar (ver Anexo A - ARMADO DEL EXTRUSOR DE TORNILLO DOBLE

MARCA HAAKE POLYLAB OS) y limpiar el extrusor debido a que los residuos se adhieren a las partes de éste haciendo difícil la limpieza.

**Figura 13 Extrudido de la dieta**



Fuente propia, Mayo de 2015

### 1.6.5 Corte y empaclado de alimento para peces

- a) **Cortado de cordón:** en la peletizadora se gradúa el tamaño de corte del cordón extrudido, manualmente se introduce el cordón por la tolva de entrada, y ésta lo corta en forma de pellets con una longitud de 5 mm aproximadamente (ver Figura 14).
- b) **Secado de pellets:** luego de cortado el cordón, se disminuye la humedad de los pellets en un horno con circulación de aire a 50 °C hasta alcanzar una humedad del 10 % (ver Figura 15).
- c) **Empacado de pellets:** se almacenan los pellets en bolsas de polietileno (ver Figura 16) y queda listo para el posterior análisis de sus propiedades físicas y consumo de los peces.

**Figura 14 Peletizado del cordón**



**Figura 15 Secado de pellets**



**Figura 16 Empacado de pellets**



**Fuente propia, Mayo de 2015**

Con la descripción del proceso POAP se identificaron cinco (5) sub-procesos los cuales son: 1) obtención de ensilaje a partir de vísceras de pescado (ensilaje), 2) desengrasado y secado del ensilaje, 3) formulación de la dieta de alimento concentrado para peces (formulación de la dieta), 4) extrusión y 5) corte y empacado de alimento para peces (corte y empacado).

## **1.7 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DEL LABORATORIO**

De acuerdo a la descripción del proceso realizada en el ítem 1.6, se describen cada uno de los equipos utilizados en los sub-procesos. A continuación se presenta la descripción de la planta en términos de los equipos mostrando en detalle sus características.

### **1.7.1 Equipos en la obtención de ensilaje a partir de vísceras de pescado**

Se realizan dos operaciones: 1) recepción de vísceras, tiene como equipos 8 tanques de plástico con capacidad de 70 litros (ver Figura 17) y una báscula (ver Figura 18), 2) Acidificado de vísceras de pescado, tiene como equipos una máscara antigás (ver Figura 19), una balanza de mesa KERN GAB (ver Figura

20), una probeta de medición de ácido (ver Figura 21) y una espátula (ver Figura 22).

Figura 17 Tanque de plástico



Figura 18 Báscula



Figura 19 Máscara antigás



Figura 20 Balanza de mesa



Figura 21 Probeta de medición



Figura 22 Espátula



Fuente propia, Mayo de 2015

### 1.7.2 Equipos en el desengrasado y secado del ensilaje

Consta de cuatro (4) operaciones: 1) Extraído de aceite sobrenadante, tiene asociado como equipo una cubeta (ver Figura 23), 2) filtrado de ensilaje, tiene como equipo un tamiz número 40 (ver Figura 24), una balanza de mesa KERN GAB (ver Figura 20), 3) separado de hidrolizado proteico y aceite, tiene asociado 2 equipos, el primero es un separador líquido - líquido marca CINC industries MODEL V02 (*rendimiento de 0 a 1.8 l/min, rango de temperatura permitida en el material de proceso de -18 a 121 °C, rango de temperatura ambiente de 4 a 49 °C, presión de trabajo máxima permitida (MWAP) de 25 psig, velocidad máxima de*

6.000 rpm, entrada de voltaje de 100 a 125 VAC 50/60Hz, corriente máxima de 3.2 A, potencia máxima de 18KW ( $\frac{1}{4}$  hp)) (ver Figura 25), su velocidad se cambia con un variador de frecuencia modelo CIMR-XCBLUAOP2 (entrada de voltaje de 100-115 VAC, frecuencia de 50/60 Hz y corriente de hasta 6 A, salida de voltaje de 0-230 VAC, potencia de 0.6 KW y corriente de 1.5 A) (ver Figura 26), el segundo equipo es una balanza de mesa KERN GAB (Ver Figura 20),4) secado de hidrolizado proteico, tiene asociado un horno de fabricante BINDER GmgH modelo FD115 (Con una temperatura de 300 °C, potencia nominal de 1,60 KW, voltaje nominal de 230 V $\pm$ 10% unidad monofásica, corriente nominal de 7.0 A, frecuencia 50/60Hz) (ver Figura 27).

**Figura 23 Cubeta**



**Figura 24 Tamiz No 40**



**Figura 25 Separador líquido – líquido**



**Figura 26 Variador de frecuencia**



**Figura 27 Horno**



Fuente propia, Julio de 2015

### 1.7.3 Equipos en la formulación de dieta de alimento concentrado para peces

Se realizan cuatro (4) operaciones: 1) pesado de materias primas, tiene como equipos asociado una desecadora (ver Figura 28) y una balanza de mesa KERN GAB (ver Figura 20), 2) mezclado de materias primas, tiene como equipos asociados dos mezcladoras KitchenAid Max Watts 250 y Max Watts 325 (*rango de voltaje de alimentación de 110-115 VAC con regulación de 10 velocidades*) (ver Figura 29), 3) Verificado de humedad, tiene como equipo asociado una balanza de humedad marca KERN & Sohn GmbH modelo DBS (*temperatura de trabajo de 50-200C° con incrementos seleccionables de 1C°, carga mínima y máxima soportada de 0.02-60 g, voltaje de alimentación de 220-240 VAC 50/60Hz*) (ver Figura 30), 4) Madurado de la dieta, tiene como equipo asociado un refrigerador marca Samsung (ver Figura 31).

Figura 28 Desecadora



Figura 29 Mezcladoras



Figura 30 Refrigerador



Figura 31 Balanza de humedad



Fuente propia, Julio de 2015

#### 1.7.4 Equipos en la extrusión

Posee un extrusor de doble tornillo marca Thermo Scientific, modelo HAAKE Rheomex OS PTW16 de Alemania (*funciona con un software de aplicación "Polysoft", está dirigido por Microsoft XP con menús desplegables y tecnología soltar y arrastrar, diámetro de tornillo de 24 mm, velocidad máxima del tornillo 1.100 Hz, temperatura máxima 350 ° C, presión máxima 100 bar, esfuerzo máximo de torsión 180 Nm, 7 zonas de calentamiento y enfriamiento interno por circuito de agua*) (ver Figura 32), para el enfriado de las 7 zonas se utiliza un refrigerador de circulación marca PolyScience, modelo SD28R-30-A11B de USA (*capacidad de depósito de 28 L, voltaje de alimentación 120V a 60Hz, temperatura de trabajo de -30 a 170°C, capacidad de calibración de temperatura 1 punto, conectividad RS232, visualización 3.75 pulgadas LCD Touch-pad, bomba de precisión de dos velocidades, presión de la bomba 3.5 psi*) (ver Figura 33).

Figura 32 Extrusor con módulo doble tornillo



Figura 33 Refrigerador de circulación



Fuente propia, Julio de 2015

#### 1.7.5 Equipos en el corte y empaqueo de alimento para peces

Se realizan tres (3) operaciones: 1) Cortado de cordón, su equipo asociado es una Peletizadora marca INMAGRAF modelo 2014, serial 4790001 de Colombia (ver figura 34), con un motor SIEMENS modelo 1LA7 072-6YA60 (*entrada de*

*alimentación de 220-440 VAC*), 2) secado de pellets, tiene como equipo asociado un horno (ver Figura 27), 3) módulo de empaqueo de pellets, no tiene asociado un equipo, el sub-proceso lo realiza un operario.

**Figura 34 Peletizadora**



**Fuente propia, Julio de 2015**

En este capítulo se hizo una introducción a la industria pesquera en general, profundizando en la piscicultura y sus insumos como el alimento para peces y las materias primas para su fabricación. Se realizó la descripción del POAP en el laboratorio y con la descripción de los equipos utilizados en el proceso se termina el Capítulo I.

## CAPÍTULO II

**Resumen:** este capítulo contiene el modelado del POAP a nivel de laboratorio, empezando por la identificación de entradas y salidas, se realiza el diagrama de flujo de proceso. Se plantean los tres modelos propuestos por el estándar ISA 88.01 (Modelo de control de proceso, Modelo Físico, Modelo de control de procedimiento), se hace el diagnóstico del proceso, evaluando el nivel de dificultad, nivel de automatización, se elabora un análisis de los modelos y el proceso en general, por último se listan los requerimientos del proceso.

### 2.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DEL POAP

Un Diagrama de Flujo de Proceso (PFD) representa esquemáticamente la conversión de las materias primas a lo largo de un proceso de producción, sin ahondar en detalles de cómo se produce dichas conversiones. Éste puede ser tan complejo o sencillo como la persona que modela el proceso lo requiera, por lo general, se busca que el PFD sea lo más sencillo posible reduciendo el nivel de detalle al mínimo con el fin que sea fácilmente interpretado [36].

Para realizar el PFD es importante identificar las entradas y salidas de flujos de materiales de cada una de las operaciones del POAP descritas en el ítem 1.6. La tabla 1 lista las entradas y salidas según las diferentes operaciones.

**Tabla 1 Entradas y salidas de flujos de materiales del POAP a nivel de laboratorio**

Entrada	Operaciones	Salida
<ul style="list-style-type: none"><li>• Vísceras y huesos de pescado</li></ul>	Recepción de vísceras de pescado	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vísceras y huesos de pescado</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Vísceras y huesos de pescado</li><li>• Ácido fórmico</li></ul>	Acidificado de vísceras de pescado	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ensilaje</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Ensilaje</li></ul>	Extraído de aceite sobrenadante	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aceite de pescado</li><li>• Ensilaje con menos porcentaje de aceite</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Ensilaje con menos porcentaje de aceite</li></ul>	Filtrado de ensilaje	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sedimentos sólidos</li></ul>

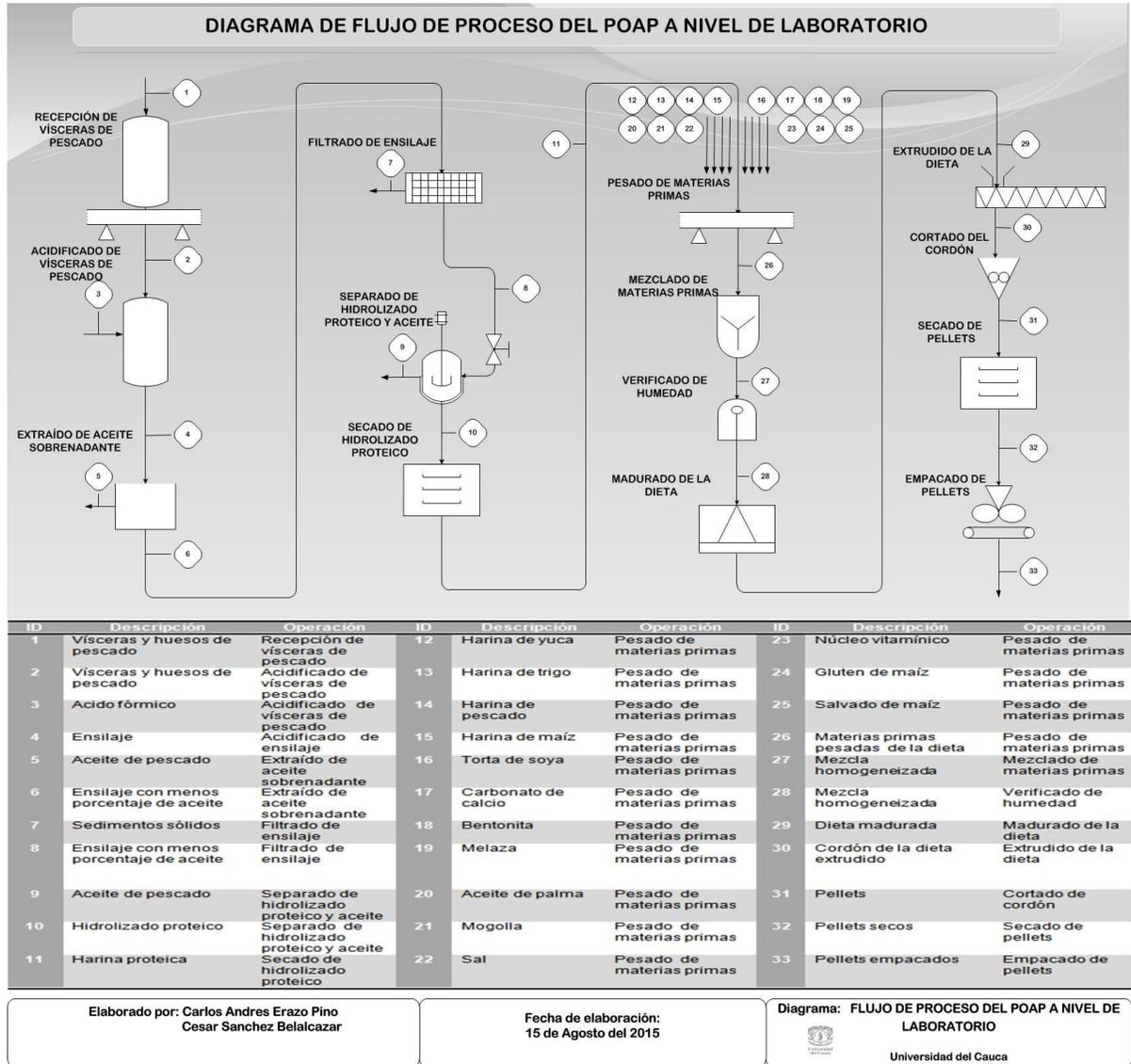
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensilaje con menos porcentaje de aceite</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensilaje con menos porcentaje de aceite</li> </ul>	Separado de hidrolizado proteico y aceite	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceite de pescado</li> <li>• Hidrolizado proteico</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrolizado proteico</li> </ul>	Secado de hidrolizado proteico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Harina proteica</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Harina proteica</li> <li>• Harina de yuca</li> <li>• Harina de trigo</li> <li>• Harina de pescado</li> <li>• Harina de maíz</li> <li>• Torta de soya</li> <li>• Núcleo vitamínico</li> <li>• Carbonato de calcio</li> <li>• Bentonita</li> <li>• Sal</li> <li>• Gluten de maíz</li> <li>• Salvado de maíz</li> <li>• Melaza</li> <li>• Aceite de palma</li> <li>• Mogolla</li> </ul>	Pesado de materias primas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materias primas pesadas de la dieta</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materias primas pesadas de la dieta</li> </ul>	Mezclado de materias primas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezcla homogeneizada</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezcla homogeneizada</li> </ul>	Verificado de humedad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dieta homogeneizada</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dieta homogeneizada</li> </ul>	Madurado de la dieta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dieta madurada</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dieta madurada</li> </ul>	Extrudido de la dieta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cordón de la dieta extrudido</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cordón de la dieta extrudido</li> </ul>	Cortado del cordón	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pellets</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pellets</li> </ul>	Secado de pellets	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pellets secos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pellets secos</li> </ul>	Empacado de pellets	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pellets empacados</li> </ul>

Elaboración propia, Julio 2015.

Con la identificación de entradas y salidas del POAP, se procede a elaborar el PFD (ver Figura 35). El proceso inicia con la entrada de la materia prima vísceras y huesos de pescado a la operación recepción de vísceras de pescado. Luego se realiza la operación Acidificado de vísceras de pescado, entran como materias primas vísceras y huesos de pescado y ácido fórmico y se obtiene como subproducto de salida ensilaje. En la operación extraído de aceite sobrenadante, se tiene como entrada el subproducto ensilaje, y como subproductos de salida aceite de pescado y ensilaje con menos porcentaje de aceite, en la operación filtrado de ensilaje, entra como subproducto ensilaje con menos porcentaje de

aceite y se obtiene a la salida ensilaje filtrado con menos porcentaje de aceite y sedimentos sólidos. Posteriormente se realiza la operación separado de hidrolizado proteico y aceite, entra el subproducto ensilaje con menos porcentaje de aceite y a la salida se obtiene hidrolizado proteico y aceite de pescado. En la operación secado de hidrolizado proteico entra como subproducto hidrolizado proteico y se obtiene la proteína seca (harina proteica). La siguiente operación es la de pesado de materias primas, entra como materiales el listado 11 a 25 (ver Figura 35) y se obtiene como salida las materias primas pesadas de la dieta. Luego se realiza la operación mezclado de materias primas, obteniendo como subproducto de salida la mezcla homogeneizada, ésta se lleva la operación verificado de humedad, y se tiene a la salida dieta homogenizada. Ésta se lleva a la operación de madurado de la dieta, obteniendo como subproducto dieta madurada, en la operación extrudido de la dieta, entra la dieta madurada y sale como subproducto el cordón de la dieta extrudido, por último se procede a cortar dicho cordón y empacar los pellets producto del corte.

Figura 35 Diagrama de flujo de proceso del POAP a nivel de laboratorio



Elaboración propia, Agosto 2015

## 2.2 MODELADO ISA S-88 DEL POAP

El estándar ISA 88 es una herramienta de modelado de procesos de producción que se compone de cinco (5) partes: modelos y terminología, modelos y representación de la receta general y de sitio, registro de producción por lotes, implementación de los modelos y terminología para el control de equipos. La parte

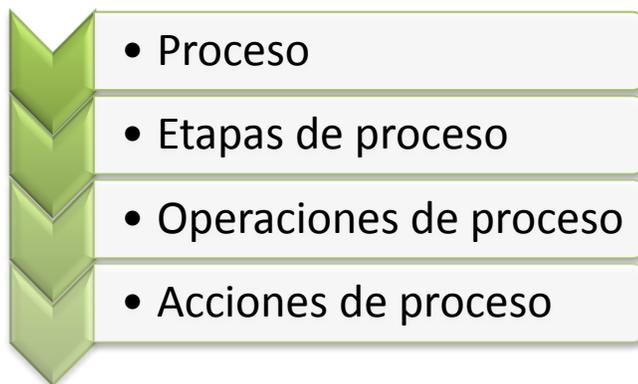
uno (1) del estándar ofrece modelos (de control de proceso, físico y de control de procedimiento) y terminologías para la estandarización de procesos tipo *batch*. El objetivo de obtener los modelos (de control de proceso, físico y de control de procedimiento) es organizar la información de manera ordenada y estandarizada que permita ser entendida y reproducida para la posterior propuesta del proceso a nivel industrial.

A continuación se procede hacer uso de ISA S-88.01 en el proyecto, aplicándola al POAP a nivel de laboratorio.

### 2.2.1 Modelo de control de proceso del POAP

El estándar ISA 88.01 define el modelo de control de proceso como la descripción del proceso productivo de una empresa donde a partir de cantidades finitas de materiales, sometiéndolas a un orden definido de procedimientos y acciones usando una o más piezas de equipo se obtiene un producto específico. El modelo de proceso propuesto está conformado por: el proceso dividido en etapas, éstas a su vez en operaciones y éstas en acciones de proceso [37] (ver Figura 36).

Figura 36 Modelo de control de proceso



Fuente modificada de [15], Mayo de 2015

A continuación se presenta la definición y el desarrollo del modelo de control de proceso para el POAP.

**Proceso:** el estándar define un proceso como una secuencia de actividades químicas, físicas o biológicas para la transformación, transporte o almacenamiento de materiales y energía. En el caso del laboratorio se tiene el proceso de obtención de alimento para peces (POAP) (ver Tabla 2).

**Etapas de proceso:** una etapa de proceso es una parte de éste que opera independientemente de otras, por lo general ejecutan una secuencia planeada de cambios físicos o químicos en el material procesado. Se identificaron cinco (5) etapas de proceso, las cuales componen el proceso de elaboración de alimento extrudido para peces siendo éstas: ensilaje, desengrasado y secado del ensilaje, formulación de la dieta, extrusión, corte y empaclado (ver Tabla 2).

**Operaciones de proceso:** cada etapa de proceso consiste en un conjunto ordenado de una o más operaciones de proceso, éstas representan las principales actividades de las etapas de proceso. El POAP está compuesto por catorce (14) operaciones de proceso (ver Tabla 2).

**Acciones de proceso:** hacen referencia a actividades de procesamiento menor que se combinan para formar las operaciones de proceso. En el POAP se identificaron cincuenta (50) acciones de proceso (ver Tabla 2).

**Tabla 2 Modelo de control de procesos del POAP**

Proceso	Etapas de proceso	Operaciones de proceso	Acciones de proceso
Obtención de alimento para peces	Ensilaje	Recepción de vísceras de pescado	Recibido de vísceras y huesos
			Transportado de vísceras hacia la planta piloto de cárnicos
			Medición de la masa de las vísceras y huesos
			Transportado de vísceras hasta el laboratorio de Biotecnología
		Acidificado de vísceras de pescado	Verificado de espacio vacío de recipiente
			Medición de ácido fórmico
	Desengrasado y secado del ensilaje	Extraído de aceite sobrenadante	Adicionado de ácido fórmico
			Mezclado de vísceras con ácido fórmico
		Filtrado de ensilaje	Almacenado de la dieta
			Retirado de material sobrenadante (aceite)
			Medido de masa de aceite
		Separado de hidrolizado proteico y aceite	Cernido de ensilaje
			Separado de material sólido (piedras y algas)
			Medido de masa del material sólido
		Fijado de parámetros del variador	
		Medido de ensilaje de entrada	
		Ingresado de ensilaje	

			Fijado de posición de válvula de entrada
			Recolectado del hidrolizado proteico
			Calculado de la masa del hidrolizado proteico
		Secado de hidrolizado proteico	Vertido en bandejas del hidrolizado proteico
			Ingresado del hidrolizado proteico al horno
			Fijado de temperatura del horno
			Retirado de proteína seca
			Empacado de la proteína seca
	Almacenado de la proteína seca en la desecadora		
	Formulación de la dieta	Pesado de materias primas	Elaborado de la fórmula
			Medido de la humedad y contenido proteínico de las materias primas
			Medido de la masa de las materias primas de la dieta según fórmula
			Medido de la masa de los aditivos según fórmula (carbonato de calcio, la bentonita y la sal)
		Mezclado de materias primas	Mezclado hasta homogeneizar las materias primas
			Mezclado hasta homogeneizar los aditivos
			Mezclado de materias primas y aditivos
		Verificado de humedad	Medido del porcentaje humedad de la dieta
			Realizado del balance de humedad de la dieta
			Adicionado de agua por aspersión según balance de humedad
			Mezclado de la dieta
		Empacado de la dieta	Empacado de la dieta
	Madurado de la dieta	Ingresado de la dieta al refrigerador	
		Retirado de la dieta del refrigerador	
	Extrusión	Extrudido de la dieta	Ingresado de la dieta madurada a la tolva del extrusor
			Impulsado de la dieta hacia el interior del extrusor
			Recolectado de cordón extrudido
Corte y empacado	Cortado de cordón	Fijado de la longitud de corte de la peletizadora	
		Ingresado de cordón a la peletizadora	
		Recolectado de los pellets	
	Secado de pellets	Ingresado de pellets al horno	
		Fijado de temperatura del horno	
		Retirado de los pellets del horno	
	Empacado de pellets	Empacado de los pellets	

Elaboración propia, Julio 2015.

### 2.2.2 Modelo físico del POAP

El principal objetivo del modelo físico propuesto por el estándar ISA 88.01 es estructurar y jerarquizar los activos físicos dentro de la empresa específicamente utilizados en el proceso de producción agrupándolos en siete (7) niveles [37] (ver Figura 37). Los tres (3) primeros niveles: empresa, sitio y área, se encuentran fuera del enfoque del estándar, puesto que son los encargados de soportar las decisiones gerenciales o corporativas. Los otros cuatro (4) niveles inferiores, hacen referencia a equipos o a grupos de equipos jerarquizados dentro de la

empresa, en términos de células de proceso, unidades, módulos de equipo y módulos de control.

Figura 37 Modelo físico



Fuente modificada de [37], Mayo de 2015

A continuación se presenta el desarrollo y definición del modelo físico para el POAP.

**Empresa:** Universidad del Cauca.

**Sitio:** Facultad de Ciencias Agrarias, Vereda Las Guacas.

**Área:** Laboratorio de Biotecnología y laboratorio de Reología y empaques de la Facultad de Ciencias Agrarias, en estos es donde se viene desarrollando el POAP por el grupo de investigación ASUBAGROIN.

**Célula de proceso:** agrupación lógica de equipos que contienen unidades, módulos de equipo y módulos de control necesarios para la producción de uno o más *batch* [37]. Teniendo en cuenta la definición del estándar se propone la “Célula de proceso de obtención de alimento para peces” (ver tabla 3) cuyo objetivo es la producción de concentrado para peces.

**Unidades:** conjunto de equipos de procesamiento y control necesarios para desarrollar actividades mayores de proceso. Operan relativamente independientes unas de otras [37]. Para la célula planteada se identificaron cinco (5) unidades: ensilaje, desengrasado y secado del ensilaje, formulación de la dieta, unidad de extrusión, corte y empaçado, (ver tabla 3).

Luego de identificar las cinco (5) unidades en que se divide la célula, se procede a determinar los módulos de equipo y los módulos de control de cada una de las unidades, entendiendo como módulo de equipo, al conjunto de una o varias piezas de equipo que pueden llevar a cabo un número finito de tareas específicas, físicamente pueden estar formados por módulos de control y otros módulos de equipo [37]. Por otro lado, los módulos de control, son los equipos que llevan a cabo las acciones de control básico, típicamente, son una colección de sensores, válvulas, motores, actuadores y otros módulos de control que permiten establecer y mantener un estado específico de los equipos y procesos [37]. En la célula de proceso se identificaron quince (15) módulos de equipo y cada uno de éstos gobernado entre 1 y 4 módulos de control, según sea la complejidad del módulo de equipo (ver Tabla 3).

**Tabla 3 Modelo físico del POAP**

Célula de proceso	Unidad	Módulo de Equipo	Módulo de Control	
Célula de proceso de obtención de alimento para peces	Unidad de ensilaje	Módulo de recepción de vísceras de pescado	Operario	
		Módulo de Acidificación de vísceras de pescado	Operario Sensor de peso	
	Unidad de desengrasado y secado del ensilaje	Módulo extracción de aceite sobrenadante	Operario	
		Módulo de filtrado de ensilaje	Operario Sensor de peso	
			Módulo de separado de hidrolizado proteico y aceite	Variador de frecuencia Operario Sensor de peso Motor
		Módulo de secado de hidrolizado proteico		Operario Sensor de temperatura
				Unidad de formulación de la dieta
		Módulo de mezclado de materias primas	Operario Motor Variador	

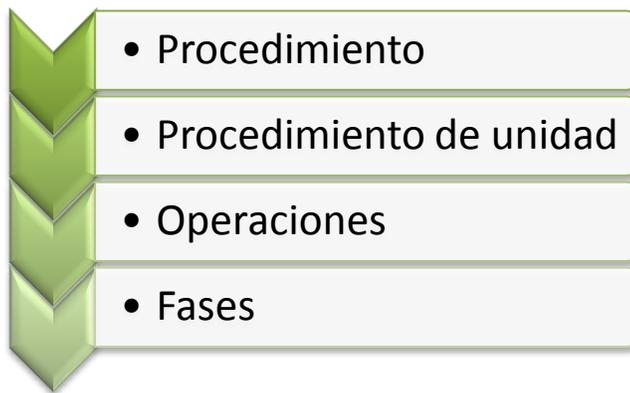
		Módulo de verificación de humedad	Operario
			Sensor de humedad
		Módulo de maduración de la dieta	Operario
			Sensor de temperatura
	Unidad de extrusión	Módulo de extrusión de la dieta	Operario
			Sensor de presión
			Motor
	Unidad de corte y empaçado	Módulo de corte de cordón	Sensor de temperatura
			Operario
		Módulo de secado de pellets	Motor
Sensor de temperatura			
Módulo de empaçado de pellets	Operario		

Elaboración propia, Julio 2015.

### 2.2.3 Modelo de control de procedimiento del POAP

Define las acciones que se deben realizar de forma jerárquica para completar un *batch* [37] (ver Figura 38). El modelo de control de procedimiento es quien define la estructura y el comportamiento de un sistema de producción especificando las acciones que se deben ejecutar sobre los equipos en un orden cronológico para llevar a cabo las tareas asociadas al proceso de producción.

Figura 38 Modelo de control de procedimiento



Fuente modificada de [15], Mayo de 20015

A continuación se presenta la definición y el desarrollo del modelo control de procedimiento para el POAP.

**Procedimiento:** define la estrategia para llevar a cabo una acción de procesamiento importante como realizar un *batch*. Está definido en términos de un

conjunto ordenado de procedimientos de unidad [37]. Teniendo en cuenta esta definición, el procedimiento para POAP es la obtención de alimento para peces (ver Tabla 4).

**Procedimiento de unidad:** consiste en un conjunto ordenado de operaciones que causa una secuencia de producción continua que tendrá lugar dentro de una unidad [37]. El proceso de elaboración de alimento extrudido para peces cuenta con cinco (5) unidades, las cuales dan paso a cinco (5) procedimientos de unidad que son: ensilado de pescado, desengrasado y secado del ensilaje, formulado de la dieta, extrusión, cortado y empackado (ver Tabla 4).

**Operaciones:** conjunto ordenado de fases que define una secuencia de procesamiento mayor que lleva el material dentro del proceso de un estado a otro, y por lo general incluye un cambio físico o químico [37]. Siguiendo al definición se identificaron catorce (14) operaciones: recepción de vísceras, Acidificar vísceras de pescado, extraer aceite sobrenadante, filtrar ensilaje, separar hidrolizado proteico y aceite, secar hidrolizado proteico, pesar materias primas, mezclar materias primas, verificar humedad, madurar la dieta, extrudir dieta, cortar cordón, secar pellets, empackar pellets (ver Tabla 4).

**Fases:** es el elemento más pequeño de control procedimental que puede llevar a cabo una tarea orientada al proceso. Una fase puede subdividirse en partes más pequeñas [37]. De esta manera, se establecieron para el proceso productivo cincuenta y ocho (58) fases (ver Tabla 4).

**Tabla 4 Modelo de control de procedimiento del POAP**

Procedimiento	Procedimiento de unidad	Operación	fase
Obtención de alimento para peces	Ensilado de pescado	Recepción de vísceras de pescado	Recibir vísceras y huesos
			Transportar vísceras y huesos hasta la planta piloto de cárnicos
			Medir la masa de las vísceras y huesos y registrarla
		Acidificar vísceras de pescado	Transportar vísceras y huesos hasta el laboratorio de Biotecnología
			Verificar espacio vacío del 30% del volumen total del recipiente
			Medir ácido fórmico en una proporción del 2,5% de la masa de vísceras a ensilar
			Verter el ácido fórmico sobre las vísceras

			Mezclar vísceras con ácido fórmico hasta homogeneizar la mezcla	
			Almacenar las vísceras durante 5 días	
	Desengrasado y secado del ensilaje	Extraer aceite sobrenadante		Retirar material sobrenadante (aceite) por medio de una cubeta
				Medir la masa de aceite retirado del ensilaje
		Filtrar ensilaje		Disponer de un tamiz No 40
				Cernir el ensilaje
				Retirar material sólido (piedras y algas) presentes en el ensilaje
				Medir la masa del material sólido retirado
		Separar hidrolizado proteico y aceite		Conectar el equipo separador líquido-líquido a toma de 110 V
				Fijar variador de frecuencia a 70 Hz
				Medir la masa del ensilaje de entrada (1 kg)
				Ingresar ensilaje medido a la alimentación del separador
				Fijar posición de la válvula de entrada del separador (0,066 l/min)
				Recolectar hidrolizado proteico en cubetas
		Secar hidrolizado proteico		Medir la masa del hidrolizado proteico recolectado
				Conectar el horno a toma de 110 V
			Verter en bandejas el hidrolizado proteico recolectado	
			Ingresar bandejas al horno	
			Fijar temperatura del horno a 70 °C por un tiempo de 16 horas	
			Retirar la proteína de las bandejas	
			Empacar la proteína seca en bolsas herméticas	
		Almacenar la proteína seca en la desecadora		
	formulado de la dieta	Pesar materias primas		Elaborar la fórmula de la dieta a procesar
				Medir la humedad y contenido proteínico de las materias primas
				Medir la masa de las materias primas según fórmula
				Medir la masa de los aditivos según fórmula (carbonato de calcio, la bentonita, y la sal)
		Mezclar materias primas		Mezclar las materias primas por 10 minutos
				Mezclar los aditivos por 5 minutos
				Mezclar las materias primas y los aditivos por 5 minutos
		Verificar humedad		Medir el porcentaje de humedad de la mezcla homogeneizada
				Realizar balance de humedad de la mezcla homogeneizada
				Adicionar agua según balance de humedad
			Medir y verificar la humedad de la mezcla homogeneizada	
			Mezclar la dieta por 5 minutos	
Madurar la dieta		Empacar la dieta en bolsas herméticas		
		Ingresar la dieta al refrigerador a 2 °C por 12 horas		
		Retirar la dieta del refrigerador		
Extrusión	Extrudir dieta		Disponer de la dieta	
			Fijar temperatura y velocidad del extrusor según parámetros de extrusión	
			Ingresar la dieta a la tolva del extrusor	
			Impulsar la dieta hacia el interior del extrusor	
			Recolectar cordón extrudido	
Cortado y empacado	Cortar cordón		Disponer de cordón extrudido	
			Conectar la peletizadora a toma de 220 V	
			Fijar la longitud de corte en la peletizadora según tamaño del pellets	
			Ingresar cordón extrudido por la alimentación de la peletizadora	

			Recolectar pellets
		Secar pellets	Fijar temperatura del horno a 50 °C
			Ingresar pellets al horno entre 20 y 30 minutos
			Retirar pellets secos
		Empacar pellets	Empacar los pellets en bolsas de polietileno

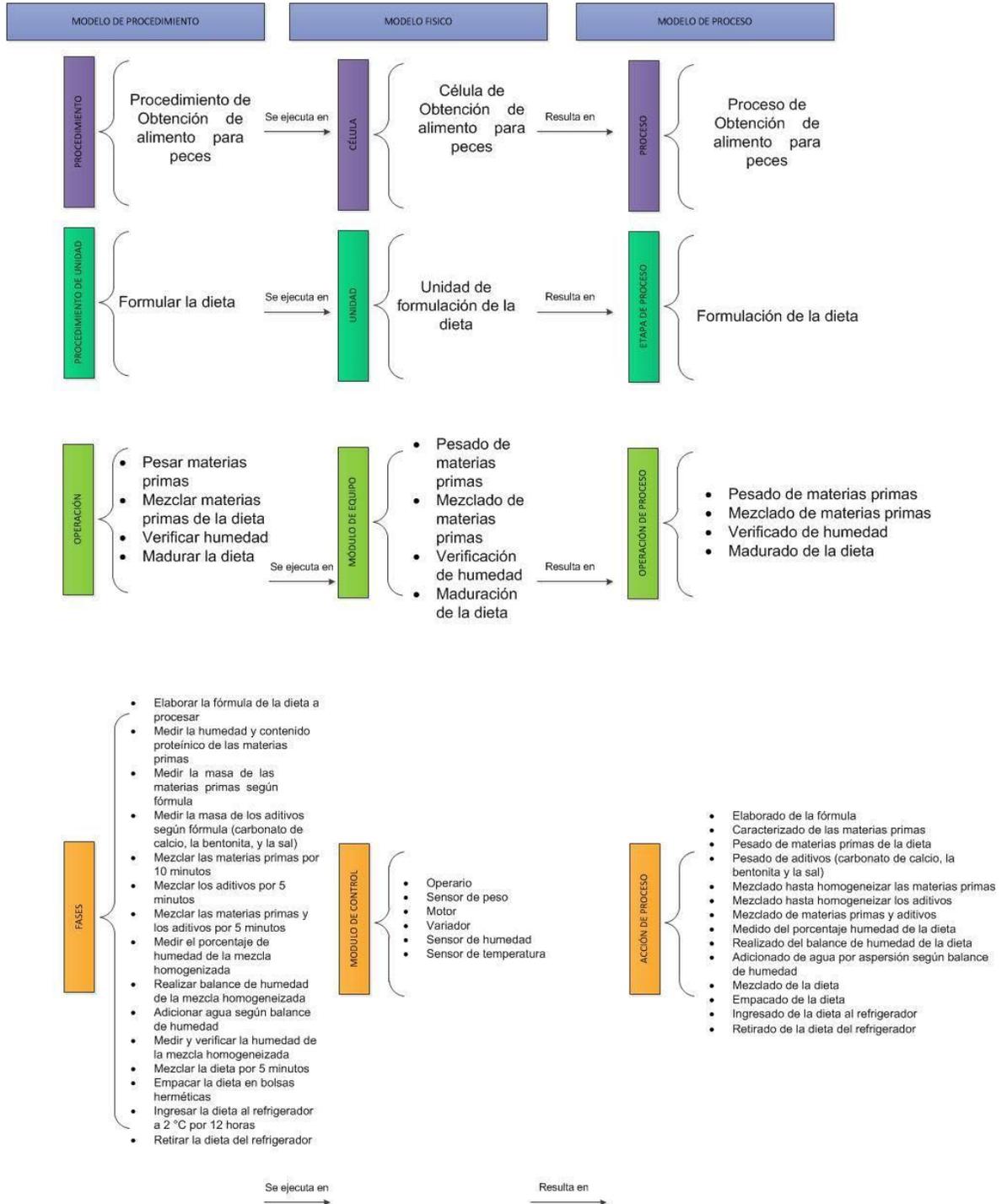
Elaboración propia, Julio 2015.

#### 2.2.4 Relación entre los modelos ISA S-88.01

Luego de realizar los modelos propuestos por ISA S-88.01, de control de procedimiento, físico y de control de proceso, entre ellos se genera una relación que determina las tareas emitidas sobre que equipos se van a ejecutar y a su vez las funciones que se generaran para conformar el proceso.

Para entender mejor la relación entre los tres modelos, se presenta un ejemplo respecto al procedimiento de unidad “formulado de la dieta” del POAP (ver Figura 39), éste se ejecuta en la “unidad de formulación de la dieta” y resulta en la etapa de proceso “formulación de la dieta”. De la misma manera para cada una de las operaciones: la operación “pesar materias primas”, se ejecuta en el módulo de equipo “pesado de materias primas”, resultando en la operación de proceso “pesado de materias primas”, la operación “mezclar materias primas de la dieta”, se ejecuta en el módulo de equipo “mezclado de materias primas” y resulta en la operación de proceso “mezclado de materias primas”, la operación “verificar humedad”, se ejecuta en el módulo de equipo “verificación de humedad”, resultando en la operación de proceso “verificado de humedad”, la operación “madurar la dieta”, se ejecuta en el módulo de equipo “maduración de la dieta” y resulta en la operación de proceso “madurado de la dieta”. De igual manera para las fases, por ejemplo para la fase “mezclar las materias primas y los aditivos por 5 minutos” se realiza con el módulo de control “motor”, resultando la acción de proceso “mezclado de materias primas y aditivos” y así sucesivamente para las catorce (14) fases restantes. La relación del ejemplo anterior funciona de manera igual para los demás ítems de los tres (3) modelos. Para mayor información ver Anexo B (RELACIÓN ENTRE LOS MODELOS ISA-S88.01).

Figura 39 Ejemplo de la relación entre los tres modelos de ISA-§88.01 del POAP



Elaboración propia, Julio de 2015.

## 2.3 DIAGNÓSTICO DEL POAP A NIVEL DE LABORATORIO

En el diagnóstico del proceso de obtención de alimento para peces se determina el nivel de dificultad de las fases, el nivel de automatización, análisis de los modelos (de control de procesos, físico y de control procedimental) realizados en el ítem 2.2 y por último se realiza un análisis general del proceso en cuanto a la documentación, mantenimiento y mejoras de algunas fases.

### 2.3.1 Evaluación del nivel de dificultad en la ejecución de las fases del POAP

Para saber el nivel de dificultad en la ejecución de las fases del POAP, se realizó una tabla con cada una de los procedimientos de unidad y sus respectivas fases. Estas fases fueron clasificadas cualitativamente por los tres investigadores a cargo en un nivel de dificultad (Bajo (B), Medio (M), Alto (A)) según tres criterios: 1) esfuerzo físico que realiza el operario en las fases, 2) conocimiento que debe tener el operario para realizar las fases, 3) riesgos del operario al realizar las fases, obteniendo los siguientes resultados (Ver Tabla 5).

**Tabla 5 Nivel de dificultad de las fases del proceso POAP**

Procedimiento de unidad	Fase	Nivel de dificultad según criterios								
		Esfuerzo físico			Conocimiento			riesgos		
		B	M	A	B	M	A	B	M	A
Ensilado de pescado	Recibir vísceras y huesos			x	x				x	
	Transportar vísceras y huesos hasta la planta piloto de cárnicos			x	x				x	
	Medir la masa de las vísceras y huesos y registrarla	x			x			x		
	Transportar vísceras y huesos hasta el laboratorio de Biotecnología			x	x			x		
	Verificar espacio vacío del 30% del volumen total del recipiente	x			x			x		
	Medir ácido fórmico en una proporción del 2,5% de la masa de vísceras a ensilar	x			x					x
	Verter el ácido fórmico sobre las vísceras	x			x					x
	Mezclar vísceras con ácido fórmico hasta homogeneizar la mezcla			x	x					x
Almacenar las vísceras durante 5 días	x			x			x			
Desengrasado y secado del ensilaje	Retirar material sobrenadante (aceite) por medio de una cubeta	x			x			x		
	Medir la masa de aceite retirado del ensilaje	x			x			x		
	Disponer de un tamiz No 40	x			x			x		
	Cernir el ensilaje			x	x				x	
	Retirar material sólido (piedras y algas)	x			x			x		

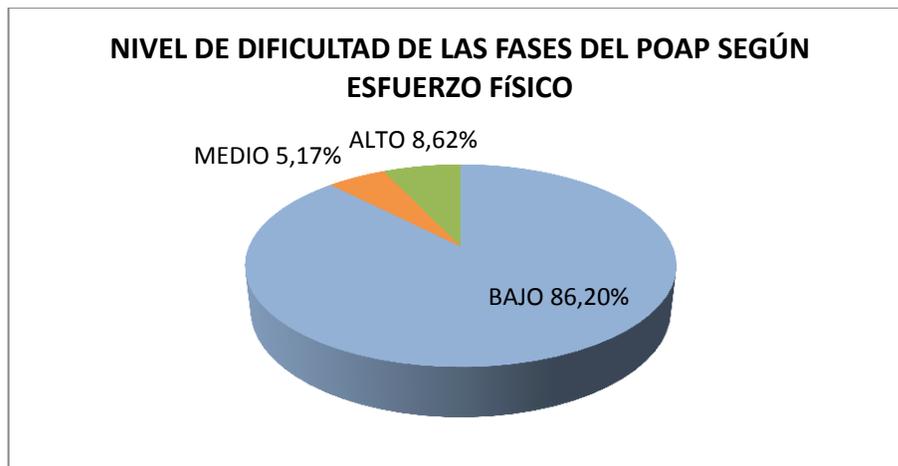
	presentes en el ensilaje									
	Medir la masa del material solido retirado	x			x			x		
	Conectar el equipo separador liquido-líquido a toma de 110 V	x			x			x		
	Fijar variador de frecuencia a 70 Hz	x			x			x		
	Medir la masa del ensilaje de entrada (1 kg)	x			x				x	
	Ingresar ensilaje medido a la alimentación del separador	x			x				x	
	Fijar posición de la válvula de entrada del separador (0,066 l/min)	x				x		x		
	Recolectar hidrolizado proteico en cubetas	x			x				x	
	Medir la masa del hidrolizado proteico recolectado	x			x				x	
	Conectar el horno a toma de 110 V	x			x			x		
	Verter en bandejas el hidrolizado proteico recolectado	x			x				x	
	Ingresar bandejas al horno	x			x				x	
	Fijar temperatura del horno a 70 °C por un tiempo de 16 horas	x			x			x		
	Retirar la proteína de las bandejas	x			x			x		
	Empacar la proteína seca en bolsas herméticas	x			x			x		
	Almacenar la proteína seca en la desecadora	x			x			x		
Formulación de la dieta	Elaborar la fórmula de la dieta a procesar	x				x		x		
	Medir la humedad y contenido proteínico de las materias primas	x					x		x	
	Medir la masa materias primas según fórmula	x				x		x		
	Medir la masa de los aditivos según fórmula (carbonato de calcio, la bentonita, y la sal)	x				x		x		
	Mezclar las materias primas por 10 minutos	x			x			x		
	Mezclar los aditivos por 5 minutos	x			x			x		
	Mezclar las materias primas y los aditivos por 5 minutos	x			x			x		
	Medir el porcentaje de humedad de la mezcla homogeneizada	x				x		x		
	Realizar balance de humedad de la mezcla homogeneizada	x				x		x		
	Adicionar agua según balance de humedad	x			x			x		
	Medir y verificar la humedad de la mezcla homogeneizada	x				x		x		
	Mezclar la dieta por 5 minutos	x			x			x		
	Empacar la dieta en bolsas herméticas	x			x			x		
	Extrusión	Ingresar la dieta al refrigerador a 2 °C por 12 horas	x			x			x	
Retirar la dieta del refrigerador		x			x			x		
Disponer de la dieta		x			x			x		
Fijar temperatura y velocidad del extrusor según parámetros de extrusión			x				x		x	
Ingresar la dieta a la tolva del extrusor		x				x			x	
Cortado y empacado	Impulsar la dieta hacia el interior del extrusor	x				x			x	
	Recolectar cordón extrudido		x			x			x	
	Disponer de cordón extrudido	x			x			x		
	Conectar la peletizadora a toma de 220 V		x			x		x		
	Fijar la longitud de corte en la peletizadora según tamaño del pellets	x				x		x		
	Ingresar cordón extrudido por la alimentación de la peletizadora	x				x		x		
	Recolectar pellets	x			x			x		
	Fijar temperatura del horno a 50 °C	x				x		x		
	Ingresar pellets al horno entre 20 y 30 minutos	x				x		x		
Retirar pellets secos	x				x		x			
Empacar los pellets en bolsas de polietileno	x				x		x			

Elaboración propia, Agosto 2015.

El nivel de dificultad del proceso en términos generales se clasificó de la siguiente manera:

Nivel de dificultad según esfuerzo físico: cincuenta (50) fases tiene un nivel de esfuerzo físico bajo, tres (3) fases un nivel de esfuerzo físico medio y cinco (5) fases un nivel de esfuerzo físico alto. En términos de porcentajes se tiene que el 86,20% de las fases del POAP se clasifican en un nivel de esfuerzo físico bajo, el 5,17% se clasifican en un nivel de esfuerzo físico medio y el 8,62% se clasifican en un nivel de esfuerzo físico alto (ver Figura 40).

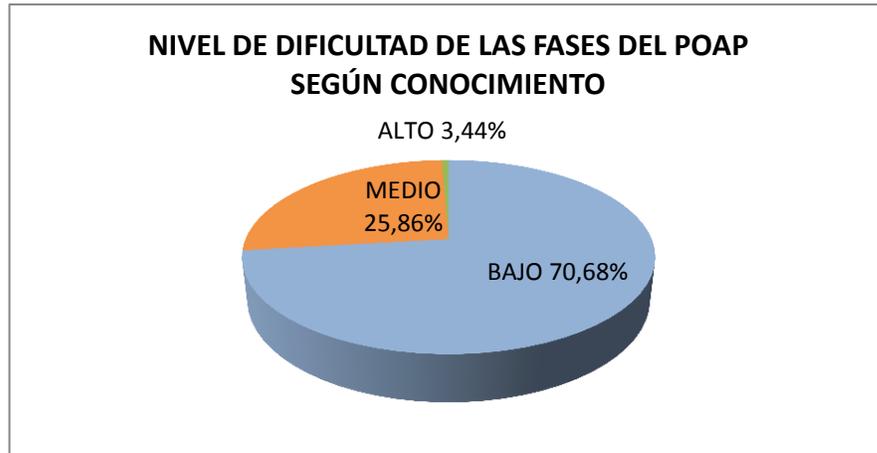
**Figura 40 Nivel de dificultad de las fases del POAP según esfuerzo físico**



Elaboración propia, Agosto de 2015

Nivel de dificultad según conocimiento: cuarenta y una (41) fases tiene un nivel de conocimiento bajo, quince (15) fases un nivel de conocimiento medio y dos (2) fases un nivel de conocimiento alto. En términos de porcentajes se tiene que el 70,68% de las fases del POAP se clasifican en un nivel de conocimiento bajo, el 25,86% se clasifican en un nivel de conocimiento medio y el 3,44% se clasifican en un nivel de conocimiento alto (ver Figura 41).

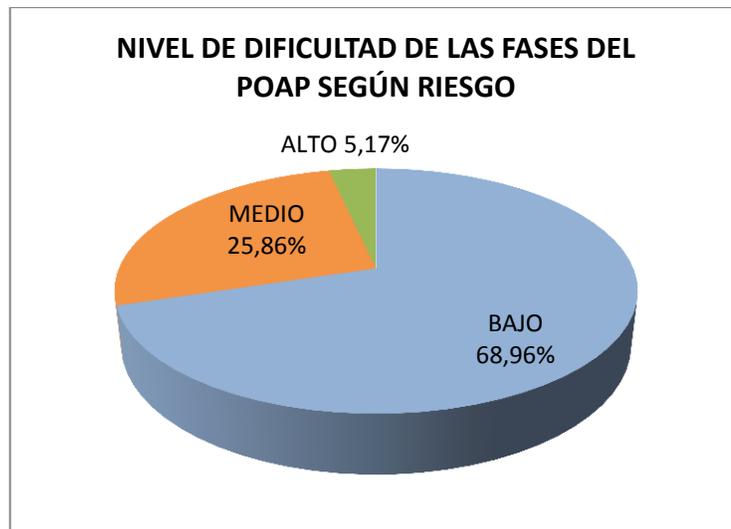
**Figura 41 Nivel de dificultad de las fases del POAP según conocimiento**



Fuente propia, Agosto de 2015

Nivel de dificultad según riesgo: cuarenta (40) fases tiene un nivel de riesgo bajo, quince (15) fases un nivel de riesgo medio y tres (3) fases un nivel de riesgo alto, en términos de porcentajes se tiene que el 68,96% de las fases del POAP se clasifican en un nivel de riesgo bajo, el 25,86% se clasifican en un nivel de riesgo medio y el 5,17% se clasifican en un nivel de riesgo alto (ver Figura 42).

**Figura 42 Nivel de dificultad de las fases del POAP según riesgo**



Elaboración propia, Agosto de 2015

Las fases “recibir vísceras y huesos, transportar hasta la planta de cárnicos, transportar viseras y huesos hasta el laboratorio de biotecnología, mezclar vísceras con ácido fórmico hasta homogeneizar la mezcla, cernir ensilaje”, se clasifican con un nivel de esfuerzo físico alto. Las fases “medir la humedad y contenido proteínico de las materias primas, fijar temperatura y velocidad del extrusor según parámetros de extrusión” se clasifican con un nivel de conocimiento alto. Las fases “medir ácido fórmico en una proporción del 2,5% de la masa de vísceras a ensilar, verter el ácido fórmico sobre las vísceras, mezclar vísceras con ácido fórmico hasta homogeneizar la mezcla” se clasifican con un nivel de riesgo alto debido al desprendimiento de vapores tóxicos en el desarrollo de las fases.

### **2.3.2 Nivel de automatización del proceso POAP**

La Real Academia de las Ciencias Físicas y Exactas define la automática como el conjunto de métodos y procedimientos para la sustitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas. De esta definición original se desprende la definición de la automatización como la aplicación de la automática al control de procesos industriales [38].

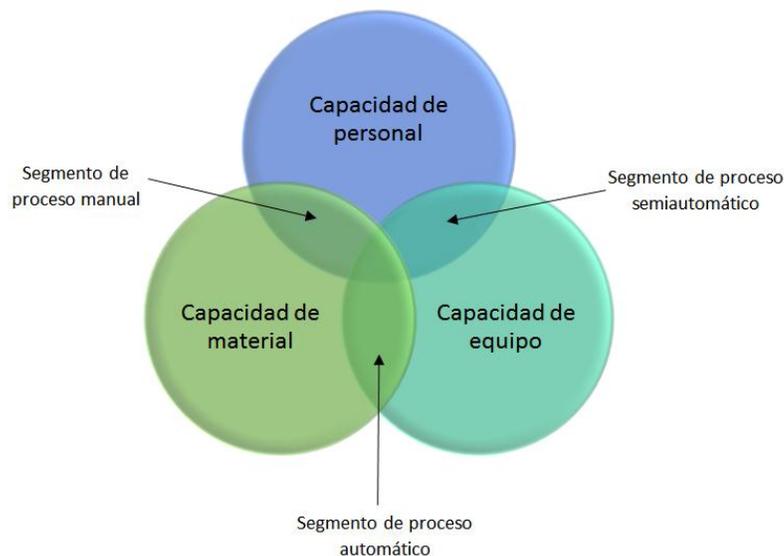
La revista Electro Industria en el artículo de Control Industrial define la Automatización Industrial como la facultad de autonomía o acción que poseen los procesos industriales de operar por sí solos, donde las actividades de producción son realizadas a través de acciones autónomas, y la participación de fuerza física humana es mínima y la de inteligencia artificial es máxima. Esto sin olvidar que la inteligencia artificial es producto de la inteligencia natural, pero su manifestación en los sistemas de control es mediante la programación en los distintos tipos de procesadores, por lo que es artificial [39].

De acuerdo a las definiciones anteriores el nivel de automatización de un proceso denota la proporción hombre-máquina para el desarrollo de tareas [40], y se puede clasificar en manual cuando el proceso es realizado por el operario,

semiautomático cuando el humano da órdenes a la máquina para que realice una tarea y automático cuando la maquina selecciona las tareas a realizar y las realiza automáticamente suprimiendo la acción del operario.

El estándar ISA-95 en la primera parte propone una forma fácil para clasificar los niveles de automatización de un proceso, mediante la relación entre capacidad de personal<sup>6</sup>, capacidad de equipo<sup>7</sup> y capacidad de material<sup>8</sup> [41], en donde la unión entre la capacidad de personal y la capacidad de material da como resultado un segmento de proceso<sup>9</sup> manual. La unión entre la capacidad personal y la capacidad de equipo da como resultado un segmento de proceso semiautomático. La unión entre la capacidad de equipo y la capacidad de material da como resultado un segmento de proceso automático (Ver Figura 43).

**Figura 43 Niveles de automatización mediante la relación entre personal, material y equipo**



**Fuente modificada de [41], Agosto del 2015**

<sup>6</sup> Capacidad de personal: se define como un conjunto de referencias a personas o clases de personal disponible para un tiempo definido.

<sup>7</sup> Capacidad de equipo: se define como un conjunto de referencias de equipos o clases de equipos disponible en un tiempo definido

<sup>8</sup> Capacidad de material: se define como un conjunto de referencias a un lote de material o sub-lote disponible durante un tiempo definido

<sup>9</sup> Segmento de proceso: es una agrupación lógica de los recursos de personal, recursos de equipos y materiales requerido para llevar a cabo una etapa de producción.

De acuerdo a la información anterior se realizó la clasificación de cada una de las fases del POAP, resultando cincuenta y ocho (58) fases en todo el proceso de las cuales cuarenta (40) son manuales y dieciocho (18) semiautomáticas (Ver Tabla 6).

**Tabla 6 Nivel de automatización de la fases del POAP**

Procedimiento de unidad	Fase	Nivel de automatización
Ensilado de pescado	Recibir vísceras y huesos	Manual
	Transportar vísceras y huesos hasta la planta piloto de cárnicos	Manual
	Medir la masa de las vísceras y huesos y registrarla	Semiautomático
	Transportar vísceras y huesos hasta el laboratorio de Biotecnología	Manual
	Verificar espacio vacío del 30% del volumen total del recipiente	Manual
	Medir ácido fórmico en una proporción del 2,5% de la masa de vísceras a ensilar	Semiautomático
	Verter el ácido fórmico sobre las vísceras	Manual
	Mezclar vísceras con ácido fórmico hasta homogeneizar la mezcla	Manual
Desengrasado y secado del ensilaje	Almacenar las vísceras durante 5 días	Manual
	Retirar material sobrenadante (aceite) por medio de una cubeta	Manual
	Medir la masa de aceite retirado del ensilaje	Semiautomático
	Disponer de un tamiz No 40	Manual
	Cernir el ensilaje	Manual
	Retirar material sólido (piedras y algas) presentes en el ensilaje	Manual
	Medir la masa del material sólido retirado	Semiautomático
	Conectar el equipo separador líquido-líquido a toma de 110 V	Manual
	Fijar variador de frecuencia a 70 Hz	Manual
	Medir la masa del ensilaje de entrada (1 kg)	Semiautomático
	Ingresar ensilaje medido a la alimentación del separador	Manual
	Fijar posición de la válvula de entrada del separador (0,066 l/min)	Manual
	Recolectar hidrolizado proteico en cubetas	Manual
	Medir la masa del hidrolizado proteico recolectado	Semiautomático
	Conectar el horno a toma de 110 V	Manual
	Verter en bandejas el hidrolizado proteico recolectado	Manual
	Ingresar bandejas al horno	Manual
Fijar temperatura del horno a 70 °C por un tiempo de 16 horas	Manual	
Retirar la proteína de las bandejas	Manual	
Empacar la proteína seca en bolsas herméticas	Manual	
Almacenar la proteína seca en la desecadora	Manual	
Formulación de la dieta	Elaborar la fórmula de la dieta a procesar	Semiautomático
	Medir la humedad y contenido proteínico de las materias primas	Semiautomático
	Medir la masa materias primas según fórmula	Semiautomático
	Medir la masa de los aditivos según fórmula (carbonato de calcio, bentonita, y sal)	Semiautomático
	Mezclar las materias primas por 10 minutos	Semiautomático
	Mezclar los aditivos por 5 minutos	Semiautomático
	Mezclar las materias primas y los aditivos por 5 minutos	Semiautomático
	Medir el porcentaje de humedad de la mezcla homogeneizada	Semiautomático
	Realizar balance de humedad de la mezcla homogeneizada	Manual
	Adicionar agua según balance de humedad	Manual
	Medir y verificar la humedad de la mezcla homogeneizada	Semiautomático
	Mezclar la dieta por 5 minutos	Semiautomático
	Empacar la dieta en bolsas herméticas	Manual
	Ingresar la dieta al refrigerador a 2 °C por 12 horas	Manual
Retirar la dieta del refrigerador	Manual	
Extrusión	Disponer de la dieta	Manual
	Fijar temperatura y velocidad del extrusor según parámetros de extrusión	Manual
	Ingresar la dieta a la tolva del extrusor	Manual
	Impulsar la dieta hacia el interior del extrusor	Semiautomático
Cortado y	Recolectar cordón extrudido	Manual
	Disponer de cordón extrudido	Manual

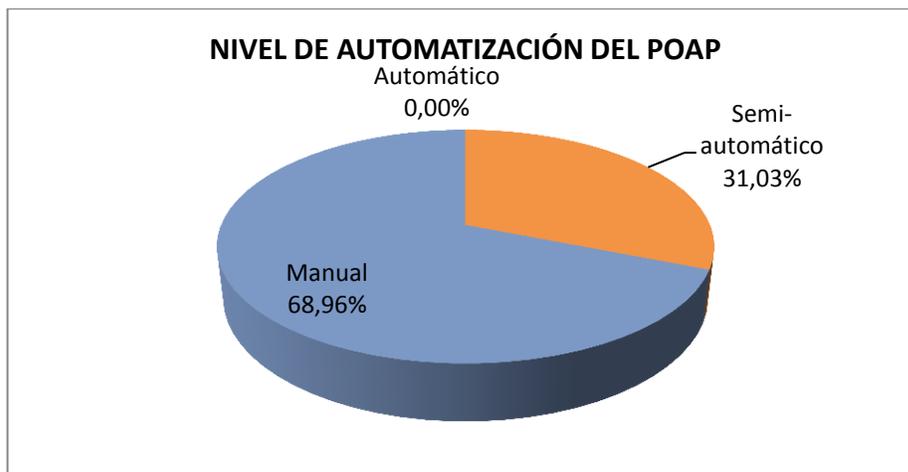
empacado	Conectar la peletizadora a toma de 220 V	Manual
	Fijar la longitud de corte en la peletizadora según tamaño del pellets	Manual
	Ingresar cordón extrudido por la alimentación de la peletizadora	Manual
	Recolectar pellets	Manual
	Fijar temperatura del horno a 50 °C	Semiautomático
	Ingresar pellets al horno entre 20 y 30 minutos	Manual
	Retirar pellets secos	Manual
Empacar los pellets en bolsas de polietileno	Manual	

Elaboración propia, Agosto 2015.

### Desarrollo estadístico del nivel de automatización del proceso POAP

De acuerdo a la información brindada por la tabla 6, en el proceso POAP el 68.96% de las fases son manuales, la mayor parte de las fases son desarrolladas por un operario, existiendo procedimientos de unidad con el 88.88 % de las fases manuales como es el caso del cortado y empacado. Por otra parte el 31.03 % de las fases del POAP son semiautomáticas y no tiene fases automáticas (ver figura 44).

Figura 44 Nivel de automatización del POAP

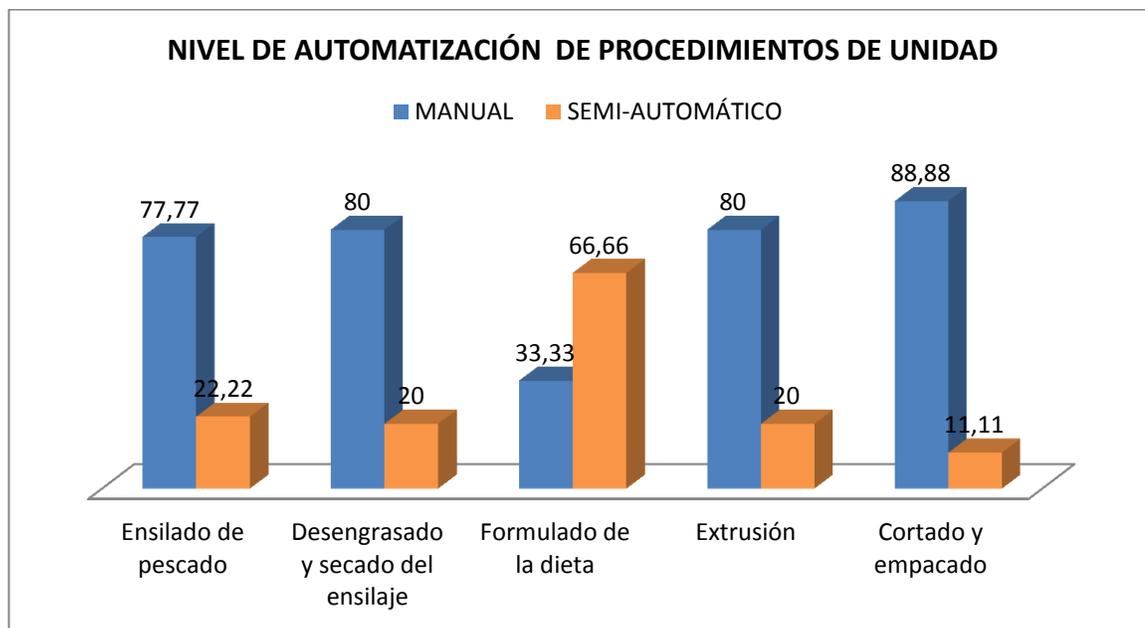


Elaboración propia, Agosto de 2015

Realizando el estudio estadístico de cada uno de los procedimientos de unidad se obtuvieron los siguientes datos: en el procedimiento de unidad ensilado de pescado el 77.77% de las fases son manuales y 22.22% son semiautomáticas. En el procedimiento de unidad desengrasado y secado del ensilaje el 80% de las fases son manuales y el 20% son semiautomáticas. En el procedimiento de unidad formulación de la dieta el 33.33% de las fases son manuales y el 66.66% son

semiautomáticas. En el procedimiento de unidad extrusión el 80% de las fases son manuales y el 20 % son semiautomáticas, en el procedimiento de unidad cortado y empacado el 88.88% de las fases son manuales y el 11.11 % de las fases son semiautomáticas (Ver figura 45).

**Figura 45 Nivel de automatización de procedimiento de unidad del POAP**



Elaboración propia, Agosto de 2015

### 2.3.3 Análisis de los modelos ISA S88.01

Teniendo en cuenta los modelos (de control de procesos, físico y de control de procedimiento) desarrollados en los ítems 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3 respectivamente, se realizó un análisis del proceso POAP por etapas, donde algunas operaciones requieren una mirada crítica.

#### **Etapas de proceso “ensilaje”:**

En la operación de proceso “recepción de vísceras de pescado” se recibe y se transporta las vísceras en recipientes hasta la planta de cárnicos para realizar el cálculo de la masa de cada uno de estos. Esta planta se encuentra a unos 100 metros del sitio de descarga, los operarios deben: cargar y desplazar los

recipientes de más de 50 litros entre 2 personas, pesarlos y luego llevarlos hasta el laboratorio de Biotecnología. Esta operación requiere de mucho esfuerzo físico, los equipos utilizados son los recipientes plásticos y la báscula, ésta última, ubicada en la planta piloto de cárnicos, requiere de un permiso tramitado con anterioridad para su uso.

En la operación de proceso “Acidificación de vísceras de pescado”, se procede a realizar el ensilaje, se mide el ácido fórmico y se vierte en las vísceras, luego se procede a mezclar con una espátula hasta que el color de las vísceras (café) sea homogéneo. Se transporta hasta el lugar donde se va a almacenar por 5 días, los equipos utilizados son una balanza de mesa, una probeta, una espátula y una careta antigás. Esta operación de proceso tiene un nivel de riesgo alto, dado a que se debe manipular ácido fórmico y el desprendimiento de vapores puede ser nocivo para la salud del operario.

#### **Etapas de proceso “desengrasado y secado del ensilaje”:**

Las dos primeras operaciones de proceso “extraído de aceite sobrenadante” y “filtrado de ensilaje” se realizan manualmente por un operario. Éste saca el aceite sobrenadante con un recipiente (cubeta) y luego registrar el peso, transporta el recipiente con ensilaje hasta un lugar fuera del laboratorio para realizar el cernido del ensilaje y sacar los materiales sólidos, ésta acción de proceso puede demorar entre 3 y 4 horas para procesar 50 litros de ensilaje, debido a que el equipo utilizado para el cernido es pequeño (tamiz No 40). Requiere de un esfuerzo físico alto.

En la operación de proceso “separado de hidrolizado proteico y aceite”, se procede a realizar el separado en un equipo separador líquido-líquido, debido a que el ensilaje no es un material netamente líquido, las salidas del equipo tienden a obstruirse, por lo tanto cada 1 kilogramo de ensilaje el operario debe de desarmar una parte del equipo para limpiarlo. Por otra parte, separar 1 kilogramo toma alrededor de 15 minutos, por lo que hace la operación de proceso muy lenta.

En la operación de proceso “secado de hidrolizado proteico”, el hidrolizado proteico es ingresado en bandejas en un horno para secarlo y obtener harina proteica, esta operación de proceso dura cerca de 16 horas y se obtiene cerca de 100 g de harina, es por esto que esta etapa de proceso es una de las más lentas.

#### **Etapa de proceso “formación de la dieta”:**

En la operación de proceso “pesado de materias primas” se realiza la fórmula de la dieta, se mide la humedad y contenido proteínico de las materias primas, se procede a medir cada una de las materias primas.

En la operación de proceso “mezclado de materias primas” se realiza el mezclado de las materias primas hasta lograr su homogenización, esta operación de proceso se realiza en 2 mezcladoras.

En la operación de proceso “verificado de humedad” se procede a verificar la humedad de la dieta, según sea el porcentaje de humedad, se realiza un balance de humedad y se le adiciona agua por aspersion a la mezcla homogeneizada, esta acción de proceso se realiza debido a que el extrusor no tiene un sistema de lubricación, por lo tanto se hace necesario ingresar la dieta con una humedad determinada. Finalmente se lleva la dieta a un refrigerador donde se deja madurar por 12 horas, esta etapa de proceso en general no exige mucho esfuerzo físico y el 66.66% de fases son semiautomáticas. Sin embargo, seis (6) de sus fases requieren un nivel de conocimiento medio y una (1) un nivel de conocimiento alto.

#### **Etapa de proceso “extrusión”:**

Solo existe una unidad de proceso “extrudido de alimento” con tres (3) acciones de proceso, en general el desarrollo de esta etapa no es complejo. Sin embargo, el armado del equipo (extrusor) es de mucho cuidado, puesto que un mal armado podría dañar partes del mismo, este equipo es muy crítico dentro del POAP debido a su valor económico y funcional, dado a que en él se realizan pruebas de otro proyectos. El armado y desarmado del equipo es tedioso y tiene un grado de

dificultad considerable, debido a que se hace en caliente, y algunas de las piezas pueden estar con una temperatura cercana a los 145 °C, se debe de realizar una adecuada limpieza con glicerina de las partes del extrusor.

### **Etapas de proceso “Corte y empaçado”:**

Se realiza el corte del cordón en pellets en un equipo “peletizador” que tiene como módulo de control un motor Siemens y un operario, se recolecta los pellets y se llevan a un horno para secarlos y posteriormente empacarlo, esta etapa de proceso no exige mucho esfuerzo ni experiencia por parte del operario.

### **2.3.4 Análisis del proceso POAP en general**

Después del análisis del grado de dificultad del proceso, nivel de automatización y de los modelos, se realizaron encuestas para determinar si existían necesidades en cuanto a la documentación del proceso, mejoras en las fases y mantenimiento de los equipos, en donde se obtuvieron los siguientes resultados.

### **Documentación del proceso POAP**

Se realizó una encuesta en donde se hicieron seis (6) preguntas con el objetivo de obtener información acerca de la documentación del proceso (ver Tabla 7).

**Tabla 7 Encuesta sobre la documentación del proceso del POAP**

Pregunta	Respuesta			Anotación
	SI	NO	En proceso	
¿Se realiza en un documento la planeación de la ejecución del proceso o etapas de proceso?	3			
¿Documenta formalmente la ejecución del proceso?	2	1		
¿Existen formatos para consignar anomalías en el proceso?	2	1		
¿Existe un formato para seguimiento de parámetros?	2	1		
¿Documenta las órdenes de compra de materias primas?	3			
¿Existe un documento donde se plasme el manejo y almacenado de las materias primas?		2	1	Se realiza inventario con una frecuencia de 3 meses para llevar el control de las materias primas

Elaboración propia, Agosto 2015.

De acuerdo a la información obtenida mediante la encuesta y la observación, se evidenció que la documentación de gran parte del proceso se realiza en bitácoras y que cada investigador asume sus propias notas, realizando la toma de los datos en algunos casos de forma informal en cuadernos de apuntes. Por otra parte, uno de los investigadores asegura que no documenta formalmente la ejecución de las etapas de proceso a su cargo, no existe un formato para consignar anomalía y no existe un formato para seguimiento de parámetros. Sin embargo, realiza anotaciones de cada anomalía y parámetros de las etapas de proceso en su cuaderno. Para algunos procedimientos de unidad se siguen protocolos realizados por los investigadores, sin embargo, estos protocolos no están escritos en sus bitácoras y los conciben y depuran cada uno según su propia experiencia, los cambios de éstos no se ven plasmados en documentos físicos compartidos por el resto de los investigadores, en otras palabras los protocolos no están documentados, ni actualizados, ni unificados.

### Mejora de las fases del proceso POAP

Se realizó una encuesta donde los investigadores opinaron acerca de la necesidad de mejorar o no cada una de las fases (ver Tabla 8).

**Tabla 8 Encuesta para determinar la necesidad de mejorar algunas de las fases del POAP**

Procedimiento de unidad	Fase	Mejora		Anotación
		SI	NO	
Ensilado de pescado	Recibir vísceras y huesos	x		
	Transportar vísceras y huesos hasta la planta piloto de cárnicos	x		
	Medir la masa de las vísceras y huesos y registrarla	x		
	Transportar vísceras y huesos hasta el laboratorio de Biotecnología	x		
	Verificar espacio vacío del 30% del volumen total del recipiente		x	
	Medir ácido fórmico en una proporción del 2,5% de la masa de vísceras a ensilar	x		
	Verter el ácido fórmico sobre las vísceras		x	
	Mezclar vísceras con ácido fórmico hasta homogeneizar la mezcla	x		
Desengrasado y secado del ensilaje	Almacenar las vísceras durante 5 días		x	
	Retirar material sobrenadante (aceite) por medio de una cubeta		x	
	Medir la masa de aceite retirado del ensilaje		x	
	Disponer de un tamiz No 40		x	
	Cernir el ensilaje	x		
	Retirar material sólido (piedras y algas) presentes en el ensilaje		x	
	Medir la masa del material sólido retirado		x	
	Conectar el equipo separador líquido-líquido a toma de 110 V		x	
	Fijar variador de frecuencia a 70 Hz		x	
	Medir la masa del ensilaje de entrada (1 kg)		x	
Ingresar ensilaje medido a la alimentación del separador		x		

	Fijar posición de la válvula de entrada del separador (0,066 l/min)	x		
	Recolectar hidrolizado proteico en cubetas	x		
	Medir la masa del hidrolizado proteico recolectado		x	
	Conectar el horno a toma de 110 V		x	
	Verter en bandejas el hidrolizado proteico recolectado		x	
	Ingresar bandejas al horno		x	
	Fijar temperatura del horno a 70 °C por un tiempo de 16 horas	x		
	Retirar la proteína de las bandejas	x		
	Empacar la proteína seca en bolsas herméticas		x	
	Almacenar la proteína seca en la desecadora		x	
Formulación de la dieta	Elaborar la fórmula de la dieta a procesar		x	
	Medir la humedad y contenido proteínico de las materias primas		x	
	Medir la masa materias primas según fórmula		x	
	Medir la masa de los aditivos según fórmula (carbonato de calcio, la bentonita, y la sal)		x	
	Mezclar las materias primas por 10 minutos		x	
	Mezclar los aditivos por 5 minutos		x	
	Mezclar las materias primas y los aditivos por 5 minutos		x	
	Medir el porcentaje de humedad de la mezcla homogeneizada		x	
	Realizar balance de humedad de la mezcla homogeneizada		x	
	Adicionar agua según balance de humedad	x		
	Medir y verificar la humedad de la mezcla homogeneizada	x		
	Mezclar la dieta por 5 minutos		x	
	Empacar la dieta en bolsas herméticas		x	
	Ingresar la dieta al refrigerador a 2 °C por 12 horas		x	
Retirar la dieta del refrigerador		x		
Extrusión	Disponer de la dieta		x	
	Fijar temperatura y velocidad del extrusor según parámetros de extrusión		x	
	Ingresar la dieta a la tolva del extrusor		x	
	Impulsar la dieta hacia el interior del extrusor		x	
	Recolectar cordón extrudido	x		
Cortado y empacado	Disponer de cordón extrudido		x	
	Conectar la peletizadora a toma de 220 V		x	
	Fijar la longitud de corte en la peletizadora según tamaño del pellets		x	
	Ingresar cordón extrudido por la alimentación de la peletizadora	x		
	Recolectar pellets	x		
	Fijar temperatura del horno a 50 °C		x	
	Ingresar pellets al horno entre 20 y 30 minutos		x	
	Retirar pellets secos		x	
	Empacar los pellets en bolsas de polietileno		x	

**Elaboración propia, Agosto 2015.**

La información consignada en la tabla 8 evidencia que en dieciséis (16) de las cincuenta y ocho (58) fases los investigadores están de acuerdo que se deben realizar mejoras, éstas van desde corregir procedimientos, incorporar medidas de seguridad hasta la adquisición de nuevos equipos. Fases como “transportar vísceras hasta la planta piloto” demandan de mucho esfuerzo físico y los investigadores aseguran que es necesario adquirir un equipo de transporte o hacerlo de otra manera (ver Tabla 8).

## Mantenimiento de equipos del proceso POAP

Se realizó una encuesta en donde se hicieron ocho (8) preguntas con el objetivo de obtener información acerca del mantenimiento de los equipos (ver Tabla 9).

**Tabla 9 Encuesta sobre el mantenimiento de equipos del POAP**

Pregunta	Respuesta		Anotación
	SI	NO	
¿Realiza mantenimiento preventivo y predictivo de los equipos? (Si su respuesta es SI, especificar a qué equipos)	x		El mantenimiento se hace por personal externo al laboratorio cada año
¿Posee los manuales e información técnica de los equipos?	x		
¿Recurre a los manuales de los equipos para seguir las instrucciones en casos falla?	x		El manual no siempre brinda toda la información
¿Existe un registro actualizado de las fallas de cada uno de los equipos?		x	
¿Se revisan y calibran los equipos cada vez que comienza el proceso?	x		Siempre y cuando sea necesario(según el equipo)
¿Clasifican los equipos según la criticidad ante una falla dentro del proceso? (que tan crítico es que tenga una falla un equipo)		x	Solo tienen en cuenta el equipo más crítico (extrusor)
¿Cuentan con un plan que les permita dar solución en el momento que un equipo crítico falle?		x	Se busca solucionar el problema cuando ocurre
¿Considera que tiene las herramientas adecuadas para la limpieza y mantenimiento de los equipos?	x		

Elaboración propia, Agosto 2015.

La información consignada en la tabla 9 evidencia que se realiza mantenimiento preventivo de los equipos, éste lo realiza personal externo al laboratorio cada año. Poseen los manuales de los equipos y recurren a ellos cuando presentan un problema, no tienen clasificados los equipos según su criticidad en caso de falla, por ende no cuentan con un plan de acción si se presenta un daño en los equipos. Los investigadores realizan la limpieza de los equipos antes y después de usarlos, aseguran tener los elementos necesarios para realizar la limpieza de los equipos (ver Tabla 9).

## 2.4 REQUERIMIENTOS DEL PROCESO POAP

Con base a la documentación del proceso se evidenciaron requerimientos para la mejora de éste, estos requerimientos se han clasificado en: requerimientos

generales (RG), requerimientos de automatización (RA), requerimientos de hardware (RH)

#### **2.4.1 Requerimientos generales**

En este documento se consideran los requerimientos generales a las necesidades de ámbito general que se deben de tener en cuenta para el mejoramiento del proceso a nivel de laboratorio, estos requerimientos se listan a continuación:

**RG1:** realizar la documentación actualizada, formal y completa de todo el proceso.

**RG2:** realizar un formato formal de planeación de la ejecución de las etapas del proceso que garantice la disponibilidad de equipos y el buen desarrollo del proceso.

**RG3:** realizar formatos estándar para el seguimiento y registro de los parámetros (humedad, proteínas, masa, porcentaje de aceite, etc) y anomalías del proceso.

**RG4:** realizar un formato de control de inventario de materias primas e insumos.

#### **2.4.2 Requerimientos de automatización**

Se determinaron los requerimientos de automatización para el proceso a nivel de laboratorio de acuerdo a la información obtenida, las cuales se listan a continuación:

**RA1:** diseñar la cadena de valor para el proceso POAP a nivel de laboratorio.

**RA2:** realizar el diagrama PFD a nivel de laboratorio con base a ISA S5.1.

**RA3:** modelar el proceso POAP a nivel de laboratorio con ISA S88.01.

**RA4:** identificar las variables de proceso (manipuladas, controladas y de disturbio) de los equipos principales.

#### **2.4.3 Requerimientos de hardware**

Se listan los siguientes requerimientos de hardware de acuerdo al análisis del proceso y a las necesidades identificadas por los investigadores.

**RH1:** contenedor que garantice la temperatura de conservación de las vísceras y huesos de pescado en el traslado desde las estaciones piscícolas o plantas procesadoras.

**RH2:** carro transportador manual que mejore las condiciones de seguridad para el traslado de los recipientes pesados.

**RH3:** adquisición de mezcladora para *batch* grandes que permita disminuir el esfuerzo y aumente la seguridad del investigador a la hora de manipular el ácido.

**RH4:** adquisición de malla o tamiz con una mayor superficie.

**RH5:** cambiar válvula de entrada del separador líquido-líquido que inhiba el taponamiento y permita una mejor regulación de flujo de entrada del ensilaje.

**RH7:** cambiar el equipo separador líquido-líquido puesto que no es el adecuado para procesar material que no sea netamente líquido.

**RH8:** cambiar la peletizadora ya que no permite una correcta alimentación y su corte es diagonal, lo cual afecta la presentación del alimento.

Dado a que el proyecto no va direccionado al mejoramiento del proceso a nivel de laboratorio, el cumplimiento de los requerimientos se realiza en el Anexo C (REQUERIMIENTOS GENERALES Y REQUERIMIENTOS DE AUTOMATIZACIÓN DEL POAP A NIVEL DE LABORATORIO).

En este capítulo se realizó el modelado del POAP a nivel de laboratorio, se hizo el PFD del proceso, los tres modelos planteados por el estándar ISA 88.01, y se realizó el diagnóstico del proceso, como resultado del diagnóstico se listaron los requerimientos del proceso.

## CAPÍTULO III

**Resumen:** *en este capítulo se realiza la definición del escalamiento del POAP, la localización y distribución de la planta procesadora de alimento (PPA), la selección y costos de los principales equipos del proceso. Se hace el modelado del POAP a nivel industrial, empezando por la identificación de entradas y salidas, el diagrama de flujo de proceso, la descripción conceptual, diagramas P&ID y de lazo. Luego se realizan los tres modelos propuestos por el estándar ISA 88.01 (Modelo de control de proceso, Modelo Físico, Modelo de control de procedimiento) para el POAP a nivel industrial.*

El proyecto de investigación “alternativas para el uso de subproductos derivados de la agroindustria piscícola ID 3883-SGR”, tiene como uno de los propósitos diseñar y construir una planta piloto de procesamiento de alimento, para lo cual se dispone de un presupuesto dado por el Sistema General de Regalías, éste se distribuye para diferentes campos de la investigación. Para la compra de equipos se tiene un monto de \$ 608.722.229 COP.

Teniendo en cuenta esta asignación presupuestal se realizó el escalamiento y diseño del proceso de obtención de alimento para peces a nivel industrial que se presenta a continuación.

### **3.1 DEFINICIÓN DEL ESCALAMIENTO DEL POAP A NIVEL INDUSTRIAL**

En el escenario de la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías está presente siempre la problemática de cómo convertir en una estructura económica de producción los conocimientos desarrollados en el laboratorio [42], el POAP no es la excepción, para hacer frente a este problema el grupo de investigación realizó un primer nivel de escalamiento del proceso.

Se entiende como escalamiento industrial a la adquisición de mejores tecnologías con mayor capacidad y vínculos de mercado que permiten a las empresas mejorar su competitividad [43]. En otras palabras, consiste en realizar mejores productos con mayor eficiencia o cambiar a actividades de mayor capacidad e innovación

que permitan la obtención de productos con alto valor agregado, ya sea entrando a nuevos nichos de mercado o a nuevos sectores, o adquiriendo nuevas funciones productivas o de servicio [44].

Se puede clasificar el escalamiento en 4 tipos:

- 1) Escalamiento de proceso: consiste en transformar materias primas en productos finales de forma eficiente reorganizando el sistema de producción o introduciendo tecnología superior.
- 2) Escalamiento de producto: consiste en cambiar hacia productos más sofisticados respecto al aumento en el valor agregado.
- 3) Escalamiento de funciones: consiste en la incorporación de funciones nuevas y superiores en la cadena, como el diseño, el marketing o abandonar las funciones de bajo valor agregado.
- 4) Escalamiento entre sectores: Consiste en aplicar las competencias adquiridas en una particular función para moverse en un nuevo sector [45].

En el caso del POAP se tomará el primer nivel de escalamiento de proceso realizado por el grupo de investigación, y se complementará realizando una propuesta de equipos, costo de equipos, diagramas (PFD, P&ID y de lazo) y el posterior modelado del proceso con ISA S88.01.

### **3.2 DISTRIBUCIÓN DE PLANTA**

Las decisiones de distribución en planta es fundamental para el plan estratégico general de cualquier empresa y a su vez presentan un desafío para la administración, pues muchas de las plantas tienen efectos a largo plazo que no se pueden revertir con facilidad. Estas decisiones determinan la eficiencia de las operaciones, así como el diseño de los puestos de trabajo, por lo tanto, resulta importante utilizar buenas prácticas de distribución [46].

La distribución en planta comprende determinar la ubicación de las áreas, las células de proceso, las unidades y los módulos de equipos en una instalación. Su objetivo general es disponer de estos elementos de manera que se asegure un flujo continuo de trabajo o un patrón específico de tráfico.

Existen diversos procesos productivos, por ende no se puede hablar de una única distribución óptima de planta, es por esto que se clasifican en: distribución por posición fija, distribución por proceso, distribución por producto y distribución por células de trabajo.

De acuerdo al proceso productivo a desarrollar se plantea una distribución por producto el cual está relacionado con procesos productivos de flujo lineal. Los equipos se colocan unos junto a otros a lo largo de una línea en la secuencia en que cada una de ellos ha de ser utilizado; el producto sobre el que se trabaja recorre la línea de producción de una estación a otra a medida que sufre las modificaciones necesarias [46].

Para la distribución de planta se utilizó el método SLP (Systematic Layout Planning) que fue desarrollado por Muther en 1961 un especialista en materia de planeación de fábricas, éste es un método de tipo cualitativo por el cual se puede determinar la distribución en planta de una forma organizada, está constituida por cuatro (4) actividades (localización, planear la organización, preparar al detalle, instalar), en éste proyecto se realizarán las dos (2) primeras actividades.

### **3.2.1 Localización de la planta procesadora de alimento (PPA)**

La alcaldía municipal de Silvia y el Cabildo Indígena de Guambia pusieron a disposición del proyecto “Alternativas para el uso de subproductos derivados de la agroindustria piscícola ID 3883” del sistema General de Regalías un total de cinco (5) lotes candidatos para la construcción de la PPA. El grupo de investigación realizó un estudio para la selección del lote teniendo en cuenta cuatro (4) factores:

**Social:** se evaluaron aspectos como disponibilidad de servicios (energía eléctrica, acueducto, alcantarillado, aseo, gas, comunicaciones), proximidad de los clientes y la actitud de la comunidad.

**Técnico:** se evaluaron aspectos como espacio para construir, vías de acceso y establecimiento, disponibilidad de materias primas, facilidades para la construcción, calidad del agua y la capacidad de la red eléctrica.

**Económico:** se evaluaron aspectos como condiciones legales del lote, costos de construcción, impuestos, costos de transportes de materias primas, costos de agua y costos de energía eléctrica.

**Ambiental:** se evaluaron los riesgos y amenazas ambientales.

De acuerdo al estudio de los cuatro (4) factores en cada uno de los cinco (5) lotes, el grupo de investigación optó por un lote que se encuentra a 100 m de la planta procesadora de pescado de Silvia (ver Figura 46). Este terreno se encuentra sobre la vía que conecta la vereda Santa Clara con la arteria principal que conduce hacia el municipio de Totoró. Las coordenadas geodésicas de esta zona son: 2°35'46,860" N y 76°23'19,381" W, altura de 2490,7 msnm, área aproximada de 2050 m<sup>2</sup> y alejada a más de 200 m de la fuente de agua más cercana [46].

**Figura 46 Lote donde se construirá la PPA**



**Fuente Alternativas para el uso de subproductos derivados de la agroindustria piscícola Sistema General de Regalías ID 388, ejecutor Universidad del Cauca, ASUBAGROIN, Abril de 2015.**

**Figura 47 localización satelital de lote donde se construirá la PPA**



**Fuente Google maps, Septiembre de 2015**

### 3.2.2 Distribución de la planta procesadora de alimento

El grupo de investigación realizó una distribución de planta por producto. Esta distribución se aplica para producción tipo *batch* y fue conocida inicialmente como cadena de montaje, que consiste en la organización de los elementos en una línea de acuerdo con la secuencia de operaciones que se realizan para llevar a cabo la elaboración de un producto determinado [47].

Para la distribución de la PPA se tomó como referencia la planta procesadora de alimento “Alimentos Concentrados del Sur S.A” identificando las áreas en las cuales ésta se dividía y adicionado áreas que eran necesarias para el buen funcionamiento de la PPA. Se propusieron diecisiete (17) áreas para el adecuado desarrollo de las actividades las cuales se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10 Áreas de la planta procesadora de alimento**

Detalle	Número	Área (m <sup>2</sup> )
Almacén de insumos	1	20,2
almacén de herramientas y utensilios de extrusión	2	4,5
Línea de proceso	3	98
Módulo de ensilaje	4	75,3
Almacén materias primas	5	44,7
Almacén de producto terminado	6	23,2

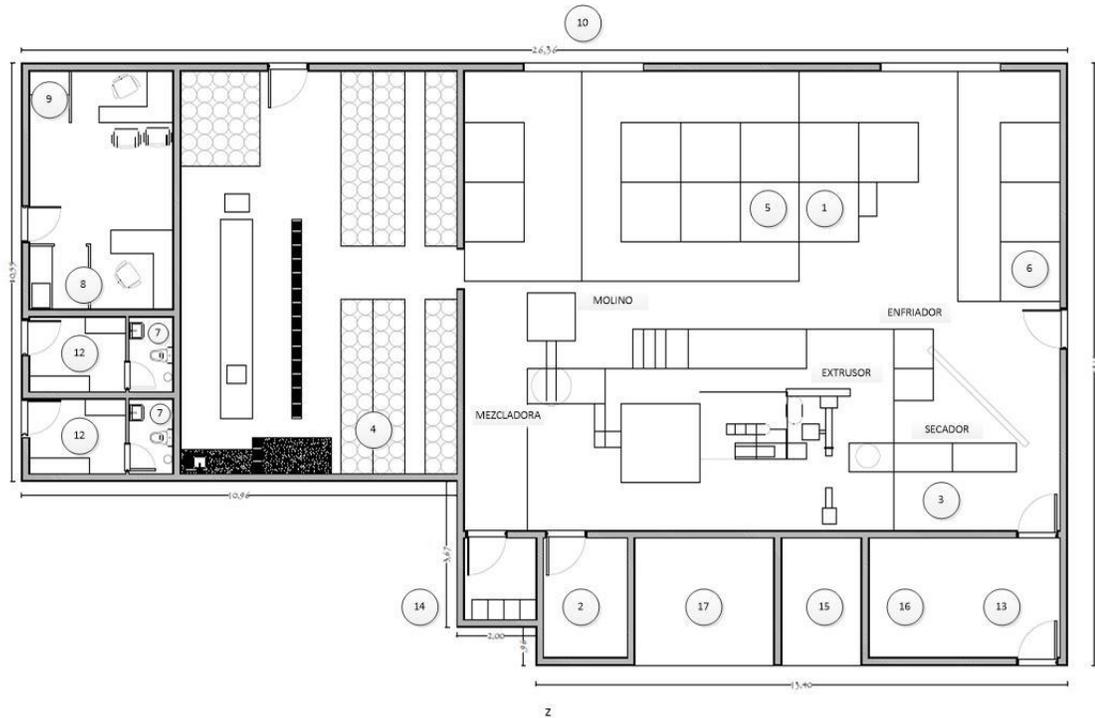
Servicio sanitario	7	4,9
Oficinas y control de calidad	8	20
Cafetería	9	3,7
Desembarque y despacho	10	131,85
Planta de tratamiento de aguas residuales	11	19
Vestieres	12	10,8
Caldera	13	17,7
Planta eléctrica	14	4,9
Condensador	15	7,5
Tanque almacenamiento de gas	16	2
Taller	17	11,9
TOTAL ÁREA		500,15

**Fuente modificado de Alternativas para el uso de subproductos derivados de la agroindustria piscícola Sistema General de Regalías ID 388, ejecutor Universidad del Cauca, ASUBAGROIN, Abril de 2015.**

A través de un diagrama de relaciones de actividades propuesto en la SLP, el grupo de investigación estableció las relaciones de proximidad entre cada una de las áreas a partir del método antes mencionado se determinó el área central de la PPA, siendo ésta la línea de proceso. En orden descendente las áreas que más relaciones tienen con el resto son: almacén de insumos, almacén de materias primas, desembarque y despacho, taller, almacén de producto terminado, módulo de ensilaje, condensador, almacén de herramientas y utensilios de extrusión, planta eléctrica, vestier, oficinas y control de calidad, cafetería, caldera, servicio sanitario, planta de tratamiento de aguas residuales y por último tanque de almacenamiento de gas.

Se analizó la distribución de planta identificando las relaciones entre las diecisiete (17) áreas (ver Figura 48), verificando una distribución eficiente que permita disminuir los recorridos en el desarrollo de las actividades en la planta, realizar recorridos cortos entre cada unidad y un buen aprovechamiento del espacio disponible.

**Figura 48 Distribución de la planta procesadora de alimento a construir en Silvia (Cauca)**



**Fuente modificado de Alternativas para el uso de subproductos derivados de la agroindustria piscícola Sistema General de Regalías ID 388, ejecutor Universidad del Cauca, ASUBAGROIN, Septiembre de 2015.**

De la visita técnica realizada a la planta procesadora de alimentos “ALIMENTOS CONCENTRADOS DEL SUR S.A” (ver Anexo F) con respecto a “Distribución de Planta” se puede concluir:

1. La planta procesadora de alimentos “ALIMENTOS CONCENTRADOS DEL SUR S.A” presenta siete (7) áreas bien definidas: administración, línea de proceso, caldera, almacenamiento de empaques, área de micro mezclas, almacenamiento de materias primas y almacenamiento de producto terminado. Donde el área de caldera tiene una división física (paredes), el área de administración es una construcción independiente y se encuentra a unos 40 m de la línea de proceso, las cinco áreas restantes se encuentran distribuidas en un salón dividido por señalización.

Para la PPA se proponen diecisiete (17) áreas, en la cual la línea de proceso es el área central en donde el almacén de insumos, almacén de materias primas, módulo de ensilaje, almacén de producto terminado y utensilios de extrusión, se encuentran cerca al área central permitiendo desplazamientos cortos por parte del operario. Algunas áreas como caldera, módulo de ensilaje, servicios sanitarios, oficinas y control de calidad, cafetería, se encuentran divididas por elementos físicos (paredes). Sin embargo, se recomienda en el proceso de construcción realizar un aislamiento adecuado de olores y de partículas finas (harinas), dado que en las operaciones de proceso “acidificado de vísceras, molido de materias primas, mezclado de materias primas, aditivos y ensilaje y extrudido de la dieta” se desprenden olores y partículas finas (harina), que podría afectar la salud de las personas que se encuentran en las áreas antes mencionadas.

2. La planta procesadora de alimentos “ALIMENTOS CONCENTRADOS DEL SUR S.A” presenta una distribución por producto, donde las materias primas se desplazan a través de un sistema de transporte de cangilones por cada uno de los equipos de la línea de producción (molino, mezcladora, extrusor, secador y enfriador). Para la PPA se realizó una distribución de planta por producto en donde las materias primas las transportan los operarios entre cada uno de los equipos de la línea de producción (molino, mezcladora, extrusor, secador y enfriador).

3. El almacenamiento de materias primas y de producto terminado para la planta procesadora de alimentos de Garzón (Huila) y la PPA se encuentran cerca de la línea de proceso, lo cual permite desplazamientos cortos por parte del operario para el suministro de materias primas y almacenamiento del producto terminado.

### 3.3 REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS

Para proponer los requerimientos de equipos es necesario establecer la cantidad de producto terminado capaz de producir la PPA y por ende la cantidad de materia prima a procesar presentada a continuación.

#### 3.3.1 Tamaño del proyecto

El tamaño de la PPA además del presupuesto, estará determinado por la cantidad de vísceras y subproductos generados en las piscifactorías. En el municipio de Silvia (Cauca) la producción de trucha es de 737.440 kg/año, en la Salvajina (Morales- Cauca) la producción de tilapia es de 72.600 kg/año. El porcentaje de subproductos generados para trucha es del 17 a 18% de vísceras, 7% huesos y 29% cabeza y piel, en tilapia los residuos generados (vísceras) está entre el 10 y 11% [46]. En la tabla 11 se presenta la cantidad de vísceras y residuos producidos en el municipio de Silvia y la Salvajina.

**Tabla 11 Cantidad de vísceras y residuos de trucha y tilapia producidos en el municipio de Silvia y la Salvajina**

Detalle	Cantidad año (ton)	Cantidad mes (ton)	Cantidad día (kg)
Vísceras de trucha	133,6	11,13	428,2
Vísceras de tilapia	8	0,665	25,6
huesos de trucha	52,0	4,33	166,5
<b>Total residuos</b>	<b>193,6</b>	<b>16,1</b>	<b>620,3</b>

Fuente Alternativas para el uso de subproductos derivados de la agroindustria piscícola Sistema General de Regalías ID 388, ejecutor Universidad del Cauca, ASUBAGROIN, Abril de 2015.

Con la cantidad de vísceras disponibles se hizo el cálculo de la cantidad de ensilaje a producir presentado en la tabla 12.

**Tabla 12 Producción de ensilaje a partir de vísceras de pescado**

Tipo de ensilaje	Detalle	Cantidad año (ton)	Cantidad mes (ton)	Cantidad día (ton)
QUÍMICO	Ensilaje de trucha	113,20	9,43	0,363
	Ensilaje de tilapia	8,26	0,69	0,026
	Ensilaje huesos de trucha	78,43	6,54	0,251

Fuente Alternativas para el uso de subproductos derivados de la agroindustria piscícola Sistema General de Regalías ID 388, ejecutor Universidad del Cauca, ASUBAGROIN, Abril de 2015.

Teniendo en cuenta los datos de la producción de ensilaje presentados en la tabla 12, el grupo de investigación realizó los cálculos de balance de materias primas para la producción de alimento de acuerdo a los porcentajes de formulación, respecto a estos cálculos se realizó la capacidad de producción de alimento para peces utilizando como fuente de proteína el ensilaje de pescado plasmada en la tabla 13.

**Tabla 13 Capacidad de producción de alimento utilizando como fuente de proteína ensilaje**

Inclusión de ensilaje	Especie	Cantidad año (ton)	Cantidad mes (ton)	Cantidad día (kg)
Químico	Trucha	745.2	62.1	2388,6
	Tilapia	32.1	2.6	103,0
	<b>total</b>	<b>777.4</b>	<b>64.7</b>	<b>2491,7</b>

Fuente Alternativas para el uso de subproductos derivados de la agroindustria piscícola Sistema General de Regalías ID 388, ejecutor Universidad del Cauca, ASUBAGROIN, Abril de 2015.

### 3.3.2 Selección de los equipos a utilizar en el POAP a nivel industrial

Se requiere de una serie de equipos interconectados entre sí que permiten la realización del proceso de obtención de alimento. Dado a que el proyecto no tiene suficiente presupuesto para la adquisición de todos los equipos, se hará la selección de cinco (5) equipos principales que garantizan el funcionamiento del POAP a nivel industrial en la PPA con la mayoría de sus fases manuales y los costos de dichos equipos.

Para la selección de los equipos se tuvieron en cuenta cuatro (4) criterios (costo, flexibilidad, fabricante y capacidad).

**Costo:** es uno de los criterios que más limita la selección de equipos. El proyecto cuenta con un presupuesto de \$ 608.722.229 COP para la compra de equipos. Dado que no se dispone de un alto presupuesto se seleccionaron cotizaciones que se ajustaran a las necesidades del proceso y del presupuesto disponible. Los costos que se plasman en este proyecto son del equipo sin IVA, no incluye costos de transporte, instalación ni capacitación del personal. Sin embargo para los equipos escogidos se hizo un estimado de los costos de envío.

**Flexibilidad:** se plantea fabricar otro tipo de alimento para disminuir los tiempos de ocio de la planta, por ende la línea de producción debe de procesar distintos tipos de harinas, debe de adaptarse a cambios en la formulación de la dieta y adición de nuevas materias primas.

**Fabricante:** se tiene en cuenta la trayectoria en el mercado, confiabilidad y certificaciones del fabricante.

**Capacidad de producción:** la capacidad de producción de la PPA va a estar limitada por la cantidad de materias primas disponibles en la región, la cual se calcula en el ítem 3.3.1, arrojando como resultado una capacidad de producción de 2491,7 Kg de alimento para peces al día. Teniendo en cuenta esto, se planea producir otro tipo de alimentos para aumentar la capacidad de producción de la PPA a una tonelada por hora.

Para la selección de los cinco (5) equipos se da un ponderado a cada una de los criterios (costo, fabricante y flexibilidad), según criticidad para el proyecto, de tal forma que el máximo valor de la suma de los ponderados sea 100 puntos. Los ponderados se fijaron así: costos 40 puntos, fabricante 30 puntos, flexibilidad 30 puntos.

La capacidad del equipo se tuvo en cuenta para enviar las solicitudes de cotización a las diferentes empresas; pero dado a que los equipos cotizados tienen o están en un valor cercano de capacidad (1 tonelada por hora), este criterio no se tuvo presente para elegir la mejor cotización.

La asignación del puntaje para el criterio de costos se hizo de forma diferente al resto de criterios aprovechando que se maneja un precio específico. Se desarrolló una fórmula para la asignación del puntaje, ésta solo se aplica para el criterio de costos. Se tienen tres (3) equipos para asignarles un puntaje, el máximo valor a dar es de 40 puntos, se escoge el equipo de menor costo como referencia, y se le asigna el puntaje máximo (PM) de 40 puntos. A partir de éste se asigna el puntaje

a los dos (2) equipos restantes, de tal forma que entre más se aleje del valor de referencia, menor será el puntaje asignado.

A continuación se muestra la nomenclatura a utilizar:

Vb: Valor del equipo menos costosos	PM: puntaje máximo (40 puntos)
Vm: Valor del equipo intermedio	Xm: puntaje medio
Va: Valor del equipo más costoso	Xa: puntaje bajo

Por regla de tres directa se tiene:

$Vb \rightarrow 100\%$

$Vm \rightarrow Xm$

$$Xm = \frac{Vm * 100\%}{Vb}$$

El resultado está en términos de porcentaje, para pasarlo en términos de puntaje se multiplica por (PM /100%):

$$Xm = \left( \frac{Vm * 100\%}{Vb} \right) * \left( \frac{PM}{100\%} \right)$$

Dado que  $Vm > Vb$  se espera que el puntaje sea mayor, como para el ejercicio debe de ocurrir lo contrario, al valor hallado se le resta 2 veces el puntaje máximo ( $2 * PM = 80$  puntos), que se multiplica por -1, así la fórmula queda:

$$Xm = - \left( \left( \left( \frac{Vm * 100\%}{Vb} \right) * \left( \frac{40}{100\%} \right) \right) - 80 \right)$$

Para el ejercicio, sí el equipo vale 2 veces el costo del equipo referente el puntaje que se le da es cero, sí el valor es mayor a 2 veces  $Vb$  el puntaje que se le da es negativo, en la tabla 14 se hace el ejercicio para valores enteros. En la Ec1 se aplica la fórmula para el valor de \$1100 tomando como valor de referencia \$1000,

en la Ec2 se aplica la fórmula para el valor de \$1500 tomando como valor de referencia \$1000.

**Tabla 14 Ejemplo de aplicación de la fórmula para la selección de equipos**

Valor	Puntaje
\$ 1000	40 puntos (PM)
\$ 1100	36
\$ 1500	20
\$ 1900	4
\$ 2000	0
\$ 3000	-40

Elaboración propia, Septiembre de 2015

$$X_m = - \left( \left( \left( \frac{1100 * 100\%}{1000} \right) * \left( \frac{40}{100\%} \right) \right) - 80 \right) = 36 \quad (\text{Ec1})$$

$$X_a = - \left( \left( \left( \frac{1500 * 100\%}{1000} \right) * \left( \frac{40}{100\%} \right) \right) - 80 \right) = 20 \quad (\text{Ec2})$$

Así por ejemplo, para la ponderación del molino se tiene:

## **MOLINO**

Equipo cuyo fin es permitir la reducción de tamaño de las partículas de las harinas y la obtención de un producto de diámetro y tamaño definido. La fineza de las partículas depende de la edad del animal al cual se va a suministrar el alimento.

### **PRIMERA COTIZACIÓN: MOLINO PULVERIZADOR MARCA PULVEX**

**MODELO: 400 PP (STD.)**

**FABRICANTE: MAQUINARIA Y PROCESOS PULVEX SA**

**VALOR SIN IVA: \$ 12.377 USD**

#### **Especificaciones:**

- Material a elegir entre: acero al carbón, acero inoxidable 304, acero inoxidable 316; las versiones pueden ir totalmente (todo excepto el motor) o partes (todo lo que entra en contacto con el producto).

- Rendimiento de 580 a 940 kg/h aproximadamente esto dependerá del producto, finura deseada y dosificación.
- Sistema de molienda turbina de 6 aspas en fundición de acero, con insertos (cuchillas) dentados intercambiables y de doble vida desmontables.
- Motor de 29.83 kW.
- Cámara de molienda fabricada en fundición de acero inoxidable con un diámetro de 40 cm y un fondo de 13 cm. la tapa gira sobre bisagras y cierra herméticamente por medio del volante.
- Forro de molienda, coraza dentada de acero con forma de media luna desmontable en la parte superior de la cámara de molienda.
- Cribas intercambiables con forma de media luna en acero (se suministran tres (3); se colocan en la parte inferior de la cámara de molienda con dispositivos sujetadores (zapatillas) las medidas a elección del cliente.
- Chumacera abridada en fundición de acero, independiente de la carcasa, para alojar los rodamientos (reforzados), separador, flecha del molino, y forma conjunto con los guardapolvos. la lubricación de los rodamientos es por medio de grasa.
- Montaje sobre caballete sencillo de ptr (perfil para fines estructurales) cuadrado tipo plancha perfil de primera calidad de acero incluye cubre bandas, rieles con tensores para el motor en acero y boca de respiración para una (1) manga filtro para capturar polvos y desalojar aire, patas en ptr cuadrado de acero con anclas.
- tolva de carga tipo pirámide invertida en acero, reforzada con compuerta ajustable para regular el flujo del producto hacia la entrada de la cámara de molienda y totalmente pulida por ambos lados
- tolva de descarga tipo rectangular acoplada directamente en el caballete y totalmente pulida por ambos lados

A continuación en la tabla 15 se presentan los puntajes asignados a los criterios de selección (costos, fabricante, flexibilidad) para el molino pulverizador marca PULVEX.

**Tabla 15 Ponderado molino pulverizador marca PULVEX**

Costo (Puntaje de 1 a 40)	Puntaje (x)	Fabricante (Puntaje de 1 a 30)	Puntaje	Flexibilidad (Puntaje de 1 a 30)	Puntaje
$X = - \left( \left( \left( \frac{12.377 * 100\%}{12.377} \right) * \left( \frac{40}{100\%} \right) \right) - 80 \right)$	40	Trayectoria en el mercado (puntaje de 1 a 10)	10	El equipo es especializado en el molido de harinas para fabricar piensos.	25
		Confiabilidad (puntaje de 1 a 10)	9		
		Certificaciones (puntaje de 1 a 10)	9		
subtotal	40	subtotal	28	subtotal	25
<b>Puntaje total</b>					<b>93</b>

Elaboración propia, Septiembre de 2015.

La selección de los cinco (5) equipos principales según ponderación se encuentran en el Anexo D (SELECCIÓN DE EQUIPOS DEL POAP A NIVEL INDUSTRIAL).

En la tabla 15 se presenta la descripción de los equipos principales escogidos que son requeridos para desarrollar el proceso con la mayoría de las fases del POAP a nivel industrial de forma manual.

**Tabla 16 Equipos principales de la PPA**

Equipo	Capacidad	Cantidad	Función
Molino pulverizador marca PULVEX modelo 400 PP (STD.)	0.58 a 0.94 ton/h	1	Permite la reducción de tamaño de la partícula y la obtención de un producto de diámetro y tamaño definido. La fineza de la criba depende de la edad del animal al cual se va a suministrar el alimento.
Mezcladora horizontal modelo MH 500/300	0.5 ton	1	Deberá lograr la distribución uniforme de los componentes de la masa y lograr una pasta homogénea.
Double screw extruder modelo LTA85	0.8-1 ton/h	1	Deberá someter a la dieta a un calentamiento bajo presión, haciéndolo pasar a través de un sistema de doble husillo y a través de una boquilla.
Secador mesh belt-type feed pellets dryer	1 ton/h	1	Éste debe reducir el contenido de humedad desde 26% hasta 8%, siendo este último el valor final ideal del contenido de humedad del producto terminado.

modelo DLWD10			
Enfriador de contraflujo modelo SKLN 11	1 ton/h	1	Éste deberá reducir la temperatura del alimento que se genera dentro del extrusor a consecuencia de la adición de vapor de agua desde 104 °C hasta 10°C por encima de la temperatura ambiente.

Elaboración propia, Septiembre de 2015.

También se requiere de equipos auxiliares para garantizar el adecuado funcionamiento de la planta y el cumplimiento de la normatividad vigente, para este trabajo solo se incluirán cuatro (4) equipos auxiliares. Dado que los equipos auxiliares no son complejos no se realiza una elección sobre ellos. En la tabla 16 se presenta la descripción de estos equipos.

**Tabla 17 Equipos auxiliares de la PPA**

Equipo	Capacidad	Cantidad	Función
Bascula de piso	150 Kg	2	Permite medir las materias primas y el producto terminado para su empaclado
Balanza de humedad Kem	0.01-60g	1	Permite medir la humedad de las materias primas y la humedad del producto terminado
Balanza de mesa	30 Kg	1	Permite medir materias primas en una cantidad menor
Caldera	75 hp	1	Produce vapor que será utilizado en el choque térmico que se le realiza a las dieta en el extrusor

Elaboración propia, Septiembre de 2015.

### 3.3.3 Costos de los equipos de la PPA

Según las cotizaciones hechas se determinaron los costos de los equipos. Los costos mostrados en la Tabla 17 son los precios en USD de los equipos sin IVA, no incluyen costos de empaque, embalaje, instalación y mantenimiento, la suma de los costos totales de los equipos es de un valor de \$127.262 USD.

Por otro lado el transporte marítimo del extrusora desde Shandong (China) hasta el puerto de Buenaventura (Colombia) está estimado entre \$600 y \$700 USD, el transporte del secador y enfriador está estimado entre \$800 y \$1000 USD, el transporte de la mezcladora de Veracruz (México) hasta el puerto de Buenaventura (Colombia) está estimado entre 1050 USD.

**Tabla 18 Costos de Equipos de la PPA**

Equipo	Capacidad	Cantidad	Valor unitario en USD	Valor total en USD
--------	-----------	----------	-----------------------	--------------------

Bascula de piso	150 Kg	2	\$372	\$744
Balanza de humedad Kern	0,01 – 60 g	1	\$1377	\$1377
Balanza Mesa	30 Kg	1	\$203	\$203
Molino pulverizador marca PULVEX modelo 400 PP (STD.)	0.58 a 0.94 ton/h	1	\$12.377	\$12.377
Mezcladora horizontal modelo MH 500/300	0.5 ton	1	\$9.939	\$9.939
Double screw extruder modelo LTA85	0.8-1 ton/h	1	\$49.500	\$49.500
Secador mesh belt-type feed pellets dryer modelo DLWD10	1 ton/h	1	\$ 24.920	\$ 24.920
Caldera	75 hp	1	\$21.694	\$21.694
Enfriador de contraflujo modelo SKLN 11	1 ton/h	1	\$6.508	\$6.508
<b>Total</b>				<b>\$127.262</b>

Elaboración propia, Septiembre de 2015.

De la visita técnica realizada a la planta procesadora de alimentos “ALIMENTOS CONCENTRADOS DEL SUR S.A”, con respecto a “Requerimientos de equipos” se puede concluir que:

1. La planta procesadora de alimentos de Garzón (Huila) cuenta con una línea de proceso semiautomática que incluye: un molino de martillos que muele las materias primas obteniendo una harina con tamaño de partícula fino, una mezcladora de aspas que funciona por *batch* de hasta 400 kg de materias primas molidas, aditivos y aceite de pescado. Luego la materia pasa por un acondicionador el cual hidrata, calienta y cocina la dieta a través de vapor de agua además que sigue mezclándola. Un extrusor que permite sacar la dieta cocinada a presión por unos orificios y una cortadora que permite cortar el cordón extrudido en trozos pequeños (pellets). Un secador permite disminuir la humedad de los pellets a través de flujo de aire caliente sobre ellos y un enfriador permite enfriar los pellets a temperatura ambiente a través de flujo de aire.

Por otra parte cuenta con un sistema de transporte basado en cangilones y tolvas de almacenamiento, el cual permite el transporte de las materias primas y subproductos a lo largo de la línea de producción utilizando solo tres (3) operarios para la supervisión control y suministro de materias primas a los equipos. Se producen 200 sacos de alimento con capacidad de 40 Kg en dos (2) turnos de trabajo (16 horas). En promedio se alcanza una producción de 0.5 ton/h.

Para la PPA se cotizaron los cinco (5) primeros equipos (molino pulverizador, mezcladora horizontal, extrusor con un pre acondicionador y cortador incluido, secador y enfriador), todos con una capacidad de producción de 1 ton/h aproximadamente. Sin embargo, no se cuenta con un sistema de transporte de materias primas y subproductos, por lo que este transporte lo deben realizar operarios.

Según la norma ISO 11228 de manejo manual de cargas, el peso máximo que un operario puede cargar sin incurrir en riesgos dorso lumbares es de 25 Kg, el ritmo de caminar debe ser una velocidad moderada de 0.5 a 1 m/s, la masa acumulada total que un operario puede transportar en condiciones ideales es de 10000 Kg en un turno (8 horas). Si la distancia de transporte es considerable (20 m), el operario podrá transportar hasta 6000 Kg en un turno de trabajo. Si se tiene en cuenta la carga de 25 Kg un operario deberá de llevarla de un lugar a otro en un tiempo de 1.2 minutos en el caso de 10000 Kg por turno y 2 minutos en el caso de 6000 Kg por turno (ver Ec (3) y Ec (4)).

$$8h \times \frac{60 \text{ min}}{1 h} = 480 \text{ min}$$

$$\frac{10000 \text{ Kg}}{25 \text{ Kg}} = 400$$

$$\frac{480 \text{ min}}{400} = 1.2 \text{ min (Ec 3)}$$

$$8h \times \frac{60 \text{ min}}{1 h} = 480 \text{ min}$$

$$\frac{6000 \text{ Kg}}{25 \text{ Kg}} = 240$$

$$\frac{480 \text{ min}}{240} = 2 \text{ min (Ec 4)}$$

Según lo anterior, si se desea trabajar a la capacidad máxima (8000 Kg) de la línea de producción en un turno (8 horas), se debe contar con 6 operarios como mínimo para el transporte de: las materias primas hasta el molino, el material molido hasta la mezcladora, el material mezclado (dieta) hasta la tolva de alimentación del acondicionador, los pellets secos hasta el enfriador y los sacos hasta el almacenamiento de producto terminado, de tal manera que en cada equipo debe estar como mínimo un operario.

La ocupación de 6 operarios para el transporte de material incurriría en gastos adicionales, ya que el transporte de material no da valor agregado al producto.

El salario mínimo mensual para contratar un empleado es de \$ 644.350 COP, pero en realidad éste no es el costo de contratación, ya que la ley impone una serie de prestaciones y beneficios que aumenta el sueldo. Por tanto, al emplear una persona que devengue el salario mínimo cumpliendo con todas sus disposiciones legales, al empleador le saldría en \$ 1.079.346 COP mensuales, por lo que tres (3) operarios adicionales sumarían a los costos 3.238.038 COP.

Por otro lado un transportador de cangilón tiene un costo de entre \$ 2.500 a \$5.000 USD (\$ 7.562.500 a \$15.125.000 COP), por lo que cuatro (4) sistemas de cangilones cuestan entre \$ 10.000 a 20.000 USD (\$ 30.250.000 a \$60.500.000 COP). Cada tolva de almacenamiento tiene un valor estimado de \$ 5.500.000 COP, por lo que cinco (5) tolvas costarían aproximadamente \$ 27.500.000 COP.

Por tanto, todo el sistema completo, transporte y almacenamiento tendría un costo entre \$ 57.750.000 a \$ 88.000.000 COP

Al hacer esta inversión, se recuperaría entre 17.83 a 27.17 meses.

Es por esto que se recomienda diseñar e instalar un sistema de transporte y almacenamiento de material que permita disminuir la cantidad de operarios y alivianar el esfuerzo físico.

2. La planta procesadora de alimentos de Garzón (Huila) cuenta con un sistema de recolección de partículas (dieta en forma de harina) que se desprenden del secado y el enfriado. En el secado se introduce un flujo de aire pre calentado al secador, este aire sale por un tubo ubicado en la parte superior del secador por el cual sale aire húmedo y partículas de harina. Este aire se lleva por un conducto hasta un ciclón que separa las partículas de harina del aire húmedo, por la parte de abajo sale las partículas y por la parte superior sale el aire, en el enfriador se

termina de recoger las partículas que se desprenden de los pellets secos a través de un sistema de trampas de partículas.

Para la PPA se recomienda realizar el diseño o la adquisición de un equipo que permita la recolección de partículas.

3. La planta procesadora de alimentos de Garzón (Huila) cuenta con un sistema de recolección y tratamiento de vapores desprendidos en el extrudido que consiste en recolectar los vapores a través de una cámara y hacerlos pasar por un tubo con aspersión de agua. Para la PPA se recomienda diseñar el sistema de recolección de vapores producto del extrudido de la dieta.

### 3.4 MODELADO DE POAP A NIVEL INDUSTRIAL

Para realizar el modelado del proceso de obtención de alimento a nivel industrial en la PPA, se tuvo en cuenta el modelado del proceso a nivel de laboratorio realizado en el ítem 2.2, literatura general y la visita a la planta de producción de alimento “ALIMENTOS CONCENTRADOS DEL SUR S:A” ubicada en Garzón (Huila).

#### 3.4.1 Diagrama de flujo de proceso del POAP a nivel industrial

Se desarrolló el diagrama de flujo de proceso del POAP a nivel industrial representando esquemáticamente la conversión de las materias primas a lo largo del proceso de producción.

Para realizar el PFD se identificaron las entradas y salidas de flujos de materiales de cada una de las operaciones del POAP a nivel industrial (ver tabla 18).

Tabla 19 Entradas y salidas de flujos de materiales del POAP a nivel industrial

Entrada	Operaciones	Salida
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vísceras de trucha</li> <li>• Vísceras de tilapia</li> <li>• Desperdicios de trucha</li> </ul>	Recepción de vísceras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vísceras de trucha</li> <li>• Vísceras de tilapia</li> <li>• Desperdicios de trucha</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vísceras de trucha</li> <li>• Vísceras de tilapia</li> </ul>	Acidificado de vísceras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensilaje</li> </ul>

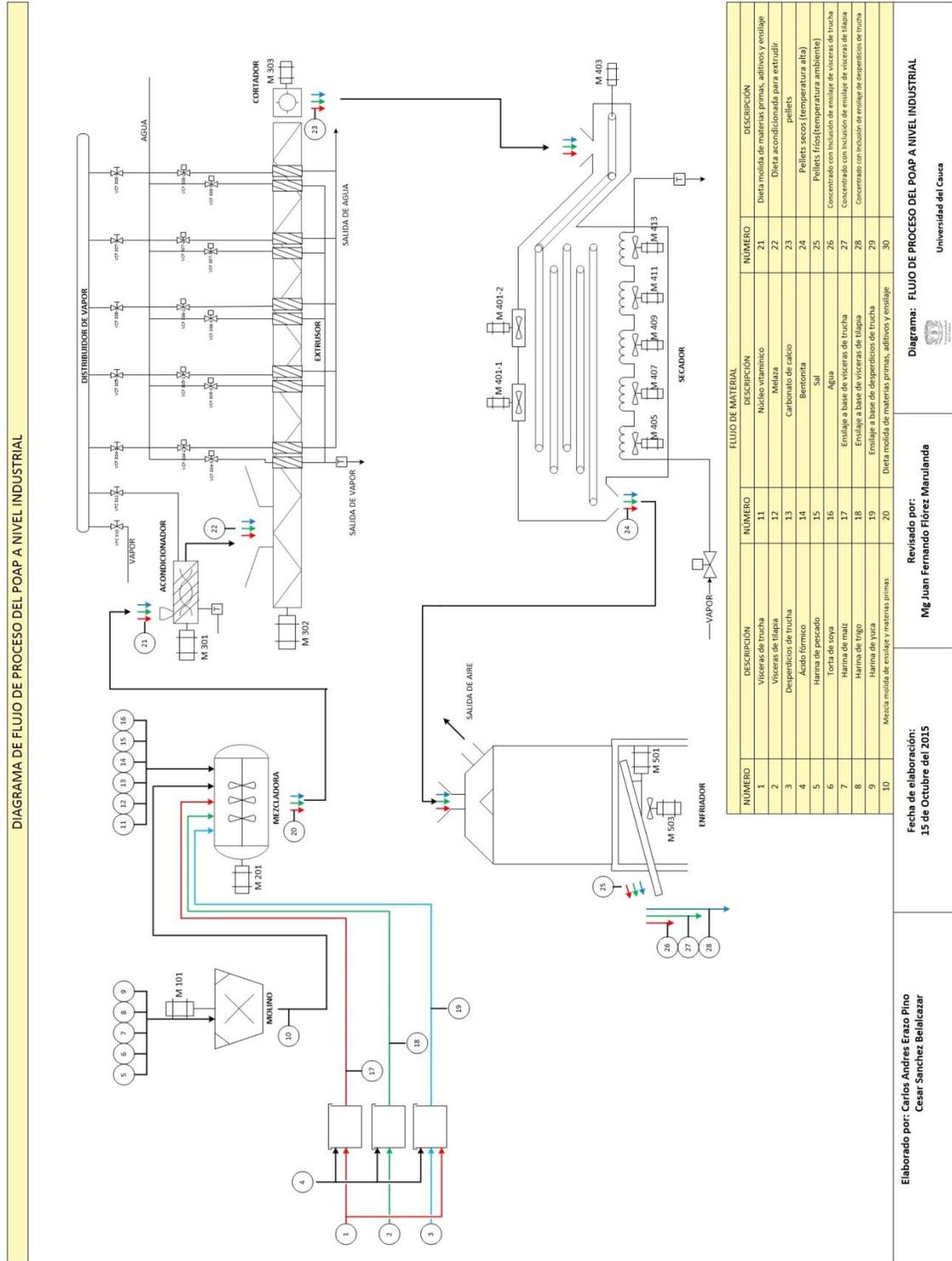
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desperdicios de trucha</li> <li>• Ácido fórmico</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensilaje</li> </ul>	Extraído de aceite y material sólido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceite de pescado</li> <li>• Ensilaje con menos porcentaje de aceite</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Harina de pescado</li> <li>• Torta de soya</li> <li>• Harina de maíz</li> <li>• Harina de trigo</li> <li>• Harina de yuca</li> </ul>	Molido de materias primas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezcla triturada de ensilaje y materias primas</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezcla triturada de materias primas</li> <li>• Ensilaje con menos porcentaje de aceite</li> <li>• Núcleo vitamínico</li> <li>• Melaza</li> <li>• Carbonato de calcio</li> <li>• Bentonita</li> <li>• Sal</li> <li>• Agua</li> </ul>	Mezclado de materias primas, aditivos y ensilaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dieta</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dieta</li> </ul>	Acondicionado de dieta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dieta acondicionada para extrudir</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dieta acondicionada para extrudir</li> </ul>	Extrudido de la dieta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cordón de la dieta extrudida</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cordón de la dieta extrudido</li> </ul>	Cortado de cordón	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pellets</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pellets</li> </ul>	Secado de pellets	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pellets secos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pellets secos</li> </ul>	Enfriado de pellets	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pellets a temperatura ambiente</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pellets a temperatura ambiente</li> </ul>	Empacado de pellets	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentrado con inclusión de ensilaje de vísceras de trucha</li> <li>• Concentrado con inclusión de ensilaje de vísceras de tilapia</li> <li>• Concentrado con inclusión de ensilaje de desperdicios de trucha</li> </ul>

Elaboración propia, Septiembre 2015

Con la identificación de entradas y salidas del POAP a nivel industrial, se procede a elaborar el PFD (ver Figura 50). El proceso inicia con la entrada de una de las materia primas (vísceras de trucha, vísceras de tilapia, desperdicios de trucha) a la operación recepción de vísceras. Luego se realiza la operación Acidificado de vísceras, entran como materias primas (vísceras de trucha, vísceras de tilapia, desperdicios de trucha, ácido fórmico) y se obtiene como subproducto de salida ensilaje. En la operación extraído de aceite, se tiene como entrada el subproducto

ensilaje, y como subproductos de salida aceite de pescado y ensilaje con menos porcentaje de aceite. En la operación molido de ensilaje y materias primas, entra como subproducto harina de pescado, torta de soya, harina de maíz, harina de trigo, harina de yuca y se obtiene a la salida el subproducto mezcla triturada de materias primas, posteriormente se realiza la operación mezclado de ensilaje con menos porcentaje de aceite, materias primas y aditivos, entra el subproducto mezcla triturada de ensilaje y materias primas, núcleo vitamínico, melaza, carbonato de calcio, bentonita, sal y agua, a la salida se obtiene la dieta, en la operación acondicionado de dieta entra como subproducto dieta y se obtiene la dieta acondicionada para extrudir. La siguiente operación es extrudido de la dieta entra como subproducto dieta acondicionada para extrudir y se obtiene como salida cordón de la dieta extrudida, luego se realiza la operación cortado de cordón obteniendo como subproducto de salida pellets, éstos se llevan a la operación secado de pellets, y se tiene a la salida pellets secos, éstos se llevan a la operación enfriado de pellets, obteniendo como salida pellets a temperatura ambiente. Por último en la operación empacado de pellets, entra pellets a temperatura ambiente y salen como producto (concentrado con inclusión de ensilaje de vísceras de trucha o concentrado con inclusión de ensilaje de vísceras de tilapia o concentrado con inclusión de ensilaje de desperdicios de trucha) según sea el tipo de ensilaje utilizado.

Figura 49 Diagrama de flujo de proceso del POAP a nivel industrial



Elaboración propia, Septiembre 2015

### **3.4.2 Descripción conceptual del POAP a nivel industrial**

Se realiza la descripción conceptual (descripción de proceso, descripción del equipo, variables controladas, variables manipuladas, variables de disturbio, esquema de control, escenario de automatización, y diagramas P&ID y de lazo) de los equipos seleccionados en el ítem 3.3.

**Descripción del proceso:** busca listar todas las acciones de procesos que se consideran importantes, en éste caso, se realiza la descripción de la transformación de las materia primas en los equipos.

**Descripción del equipo:** se realiza la descripción de los equipos en donde se listan los sensores, actuadores y controladores.

**Variables de proceso (controladas, manipuladas y de disturbio):** son todas aquellas variables físicas, medibles o no en el proceso, que permiten conocer y/o interferir en el estado o comportamiento del proceso a lo largo del tiempo. Éstas se clasifican en tres (3): 1) variables controladas que son todas aquellas variables que a lo largo del proceso deben de seguir un comportamiento deseado que permita cierto nivel de calidad del producto, 2) variables manipuladas que son todas aquellas variables que al modificarlas influyen directamente en valor de las variables controladas y por ende en el proceso, 3) variables de disturbio que son todas aquellas variables que cuando cambian de valor perturban la variable controlada, sacándola del valor deseado y afectando el proceso, éstas a su vez se clasifican en no existentes (NE), no crítico (NC), crítico (C). En el POAP a nivel industrial se realiza la identificación de las variables para cada uno de los equipos.

**Esquema de control:** a partir de la identificación de las variables y sus especificaciones se plantea el esquema de control (lazo abierto, lazo cerrado, feedback, feedforward, cascada, etc) para los equipos.

**Escenario de automatización:** el escenario de automatización (stand alone, PLC, IPC, DCS, etc) es planteado a partir de las especificaciones de los equipos.

**Diagrama P&ID:** Por sus siglas en inglés (Piping and Instrumentation Drawing). En español diagrama de tuberías e instrumentación (DTI), es un documento que muestra el flujo del proceso en las tuberías, así como la interconexión de los principales equipos de proceso y la instrumentación utilizada para controlar el proceso. Se utiliza un conjunto de símbolos para representar los equipos, tuberías, componentes de tuberías, válvulas, conductores de equipos e instrumentación y controles basados en el estándar ISA-5.1-1984-(R1992) [36].

**El diagrama de lazo:** el diccionario de ISA define el diagrama de lazo como una representación esquemática completa del circuito hidráulico, eléctrico, magnético o neumático de un lazo de control. Un diagrama de lazo representa las conexiones de proceso y la interconexión de los componentes a las fuentes de energía y transmisión bien sea de sistemas neumáticos, electrónicos o digitales [36].

A continuación se realiza la descripción conceptual de los equipos seleccionados.

En la tabla 19 se presenta la descripción conceptual para el molino pulverizador modelo 400 PP (STD).

**Tabla 20 Descripción conceptual molino pulverizador modelo 400 PP (STD)**

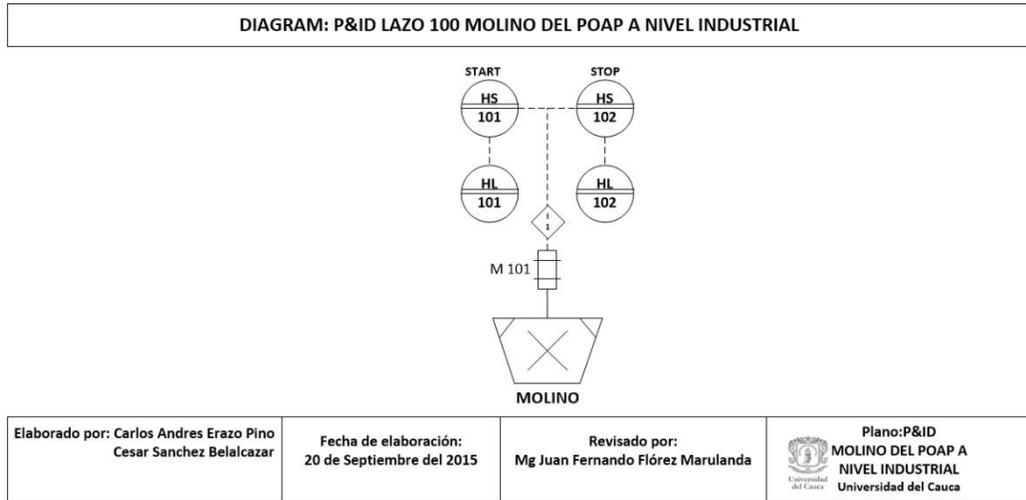
<b>MOLINO</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</b>
	Se introduce por la tolva de entrada al molino las materias primas tales como: ensilaje, torta de soya, harina de maíz, harina de trigo, harina de yuca, núcleo vitamínico, salvado de maíz, etc. Estas caen por gravedad a un sistema de aspas con cuchillas dentadas las cuales muelen las materias primas hasta obtener un tamaño aproximado de partícula de 0.25 mm, según sea las necesidades, las materias primas molidas son expulsadas por una tolva de salida.
	<b>DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO</b>
	El molino está construido en acero inoxidable con una capacidad de 580 a 940 Kg/h, cuenta con una tolva de carga tipo pirámide invertida y otra de descarga tipo rectangular acoplada directamente al caballete, sistema de molienda con turbinas de 6 aspas en fundición de acero con inserto de cuchillas dentadas intercambiables, cuenta con un motor trifásico (M 101) de 29 kW de potencia, el cual se prende y apaga a través de un sistema de botoneras (HS 102, HS102), unas luces indicadoras (HL 101, HL 102) muestran el prendido o apagado del motor.
	<b>VARIABLES CONTROLADAS</b>
	Tiempo de encendido, flujo de entrada de las materias primas
	<b>VARIABLES MANIPULADAS</b>
	Corriente
	<b>VARIABLES DE DISTURBIO</b>
	Perdida de la tensión eléctrica (no existente), obstrucción de las aspas (no existente)
	<b>ESQUEMA DE CONTROL</b>
	Lazo abierto sin instrumentación
	<b>ESCENARIO DE AUTOMATIZACIÓN</b>
Stand alone	

Elaboración propia, Septiembre 2015

## DIAGRAMAS P&ID Y DE LAZO

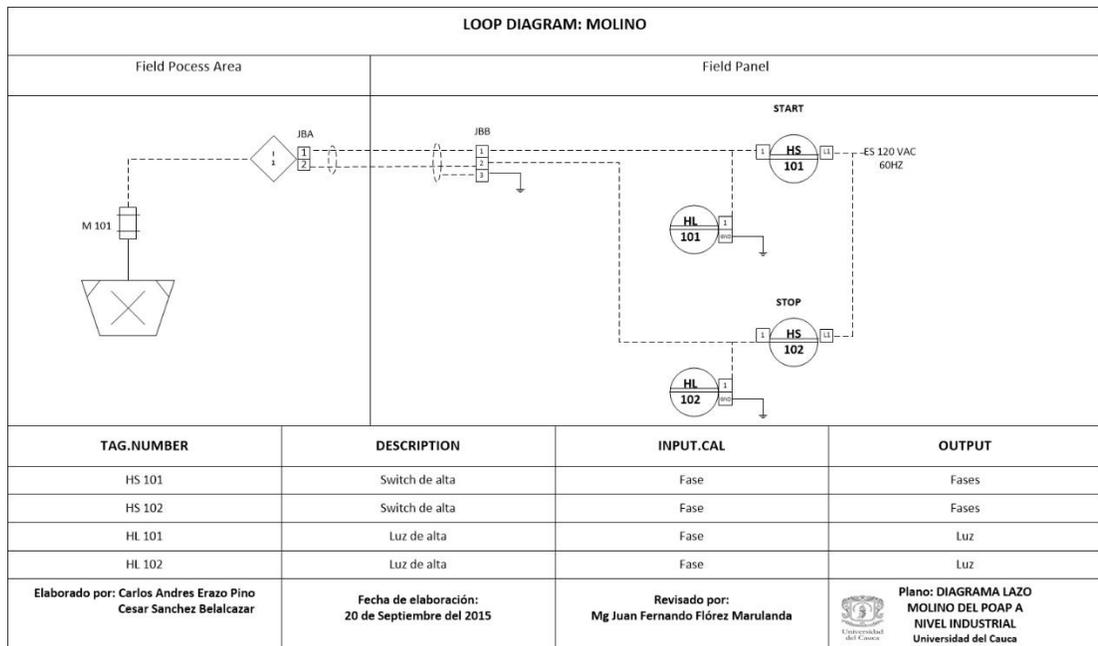
En las figuras 50 y 51 se presentan los diagramas P&ID y de lazo para el molino pulverizador modelo 400 PP (STD).

Figura 50 Diagrama P&ID del molino pulverizador modelo 400 PP (STD)



Elaboración propia, Octubre 2015

Figura 51 Diagrama de lazo del molino pulverizador modelo 400 PP (STD)



Elaboración propia, Septiembre 2015

En la tabla 20 se presenta la descripción conceptual para la mezcladora horizontal modelo MH 500/300

**Tabla 21 Descripción conceptual mezcladora horizontal modelo MH 500/300**

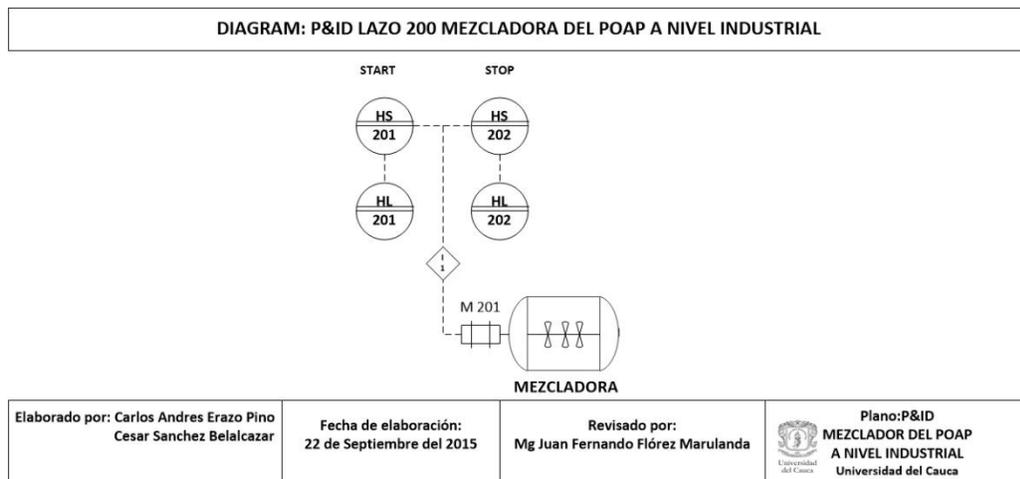
<b>MEZCLADORA</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</b>
	Se realiza mezclado de ensilaje y materias primas provenientes del triturado junto con los aditivos, éstos se introducen en <i>batch</i> de 200 a 500 Kg a la mezcladora, la cual realiza el mezclado por medio de un sistema de aspás, logrando una distribución uniforme de los componentes obteniendo una dieta homogénea.
	<b>DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO</b>
	Mezcladora horizontal hecha en acero inoxidable con una capacidad de 500Kg, cuenta con sistema de aspás en acero al carbón las cueles utiliza para el mezclado, un motor trifásico (M 201) con transmisión por medio de catarina, el cual se prende y apagar a través de un sistema de botoneras (HS 202, HS202), luces indicadoras (HL 201, HL 202) muestran el encendido y el apagado del motor.
	<b>VARIABLES CONTROLADAS</b>
	Tiempo de mezclado
	<b>VARIABLES MANIPULADAS</b>
	Tiempo de mezclado
	<b>VARIABLES DE DISTURBIO</b>
	Perdida de la tensión eléctrica (no existente), obstrucción de las aspás por material no adecuado (no existente).
<b>ESQUEMA DE CONTROL</b>	
Lazo abierto sin instrumentación	
<b>ESCENARIO DE AUTOMATIZACIÓN</b>	
Stand alone	

Elaboración propia, Septiembre 2015

## DIAGRAMAS P&ID Y DE LAZO

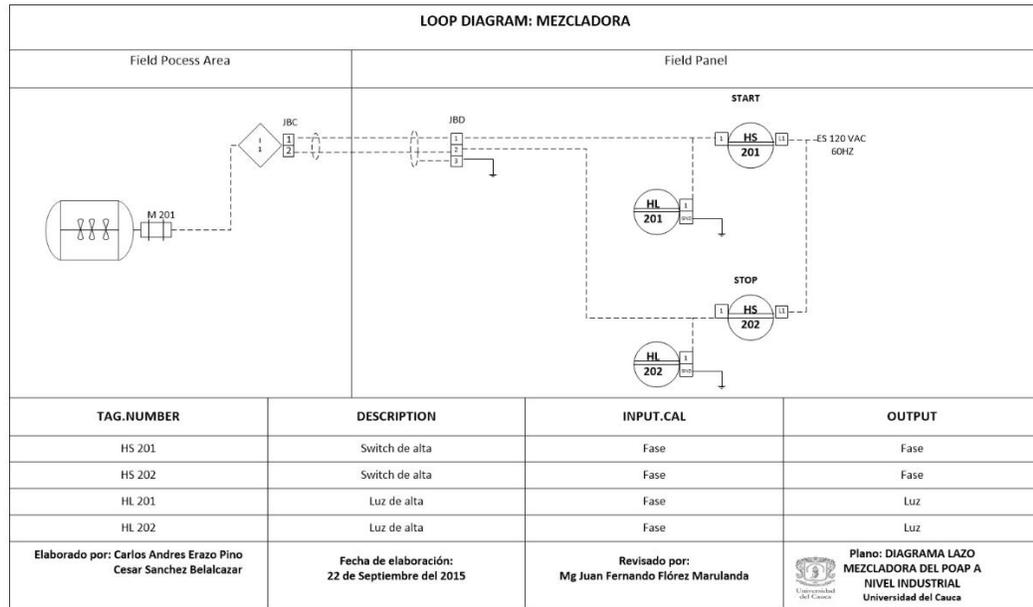
En las figuras 52 y 53 se presentan los diagramas P&ID y de lazo para la mezcladora horizontal modelo MH 500/300

**Figura 52 Diagrama P&ID de la mezcladora horizontal modelo MH 500/300**



Elaboración propia, Septiembre 2015

**Figura 53 Diagrama de lazo de la mezcladora horizontal modelo MH 500/300**



**Elaboración propia, Septiembre 2015**

En la tabla 21 se presenta la descripción conceptual para el extrusor double screw extruder LTA85

**Tabla 22 Descripción conceptual extrusor del double screw extruder LTA85**

<b>EXTRUSOR</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</b>
	Se introduce la dieta proveniente de la mezcladora por la tolva del acondicionador para realizar un precalentado y acondicionado de la dieta, este precalentado se hace a través de vapor que circula a través de una chaqueta del acondicionador, la dieta es impulsada desde la entrada hasta la salida por un sistema de tornillos impulsados por un motor, la velocidad del motor se puede variar para aumentar el flujo de entrada y salida de la dieta, después se introduce la dieta precalentada al extrusor, el cual la impulsa desde la entrada hasta la salida con un sistema de doble tornillo que cumplen dos funciones (traslado y mezclado de la dieta) impulsados por un motor con velocidad variable, sometiéndola a un calentamiento bajo presión a través de cinco (5) zonas independientes de temperatura, según el tipo de alimento a fabricar y del tipo de materias primas la temperatura de cada zona se modifica, la dieta sale por una boquilla (dado) que da la forma deseada (cordón), finalmente pasa el cordón por un cortado que se encuentra al final del extrusor, éste corta en trozos pequeños (pellets) el cordón por medio de cuchillas impulsadas por un motor trifásico con velocidad variable para variar el tamaño del pellet.
	<b>DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO</b>
	Este equipo tiene una capacidad de 800 a 1000 Kg/h, está compuesto por un acondicionador, un extrusor de doble tornillo y un cortador de cordón en donde: El acondicionador cuenta con una tolva de entrada de material, un motor trifásico (M 301) con velocidad variable gobernado por un variador de frecuencia (VAR 301), un sistema de calentamiento de material a base de vapor, éste es suministrado a través de una tubería la cual posee una válvula manual (VFC 311) para control de flujo de entrada de vapor y una trampa (T) para recolectar el agua condensada. El extrusor cuenta con una tolva de entrada de material, un barril con cinco (5) zonas de calentamiento por medio de vapor y refrigeración por medio de agua, cinco (5) válvulas manuales (VCF 304-1, VCF 305-1, VCF 306-1, VCF 307-1, VCF 308-1) de seguridad para el flujo de vapor, cinco (5) servo válvulas (VCF 304-2, VCF 305-2, VCF 306-2, VCF 307-2, VCF 308-2) para el control de flujo de vapor, un indicador de presión (PI) para el distribuidor de vapor y cinco (5) servo válvulas (VCF 304-3, VCF 305-3, VCF 306-3 VCF 307-3, VCF 308-3) para el control de flujo de agua, las diez (10) servo válvulas están gobernadas por cinco (5) controladores stand alone (TIC 304, TIC 305, TIC 306, TIC 307, TIC 308), y

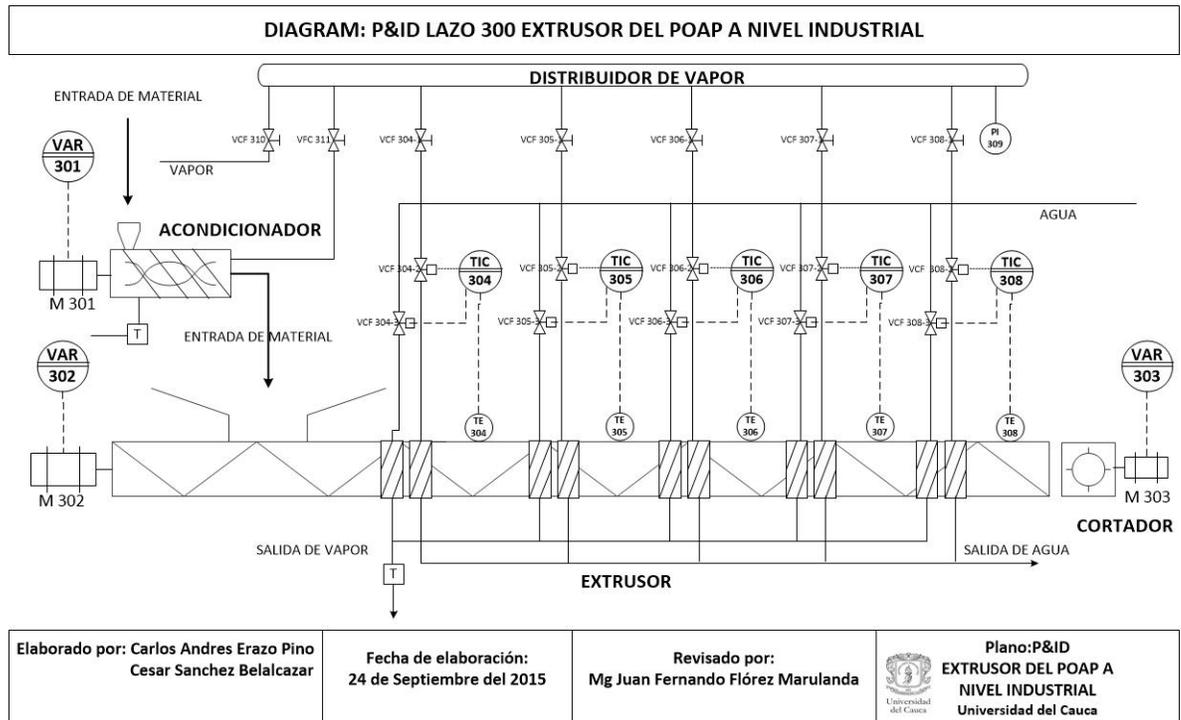
<p>cinco (5) sensores de temperatura (TE 304, TE 305, TE 306, TE 307, TE 308) que miden la temperatura de cada zona y la envían al controlador correspondiente, un motor trifásico (M 302) de 90 kW gobernado por un variador de frecuencia (VAR 302). El cortador cuenta con un motor trifásico (M 303) gobernado por un variador de frecuencia (VAR 303).</p>
<b>VARIABLES CONTROLADAS</b>
Velocidad de los tres (3) motores (M 301, M 302, M 303), temperatura de las cinco (5) zonas.
<b>VARIABLES MANIPULADAS</b>
Frecuencia (Hz) de los tres (3) motores (M 301, M 302, M 303), caudal de vapor que ingresa cada una de las cinco (5) zonas, caudal de agua que ingresa que ingresa cada una de las cinco (5) zonas.
<b>VARIABLES DE DISTURBIO</b>
Caudal de vapor que ingresa a cada una de las cinco (5) zonas (crítico), caudal de entrada de agua que entra a cada una de las cinco (5) zonas (crítico), temperatura de entrada del material (no crítico), pérdida de la tensión eléctrica (no existente), obstrucción de las aspas por material no adecuado (no existente).
<b>ESQUEMA DE CONTROL</b>
feedback.
<b>ESCENARIO DE AUTOMATIZACIÓN</b>
Stand alone

Elaboración propia, Septiembre 2015

## DIAGRAMAS P&ID Y DE LAZO

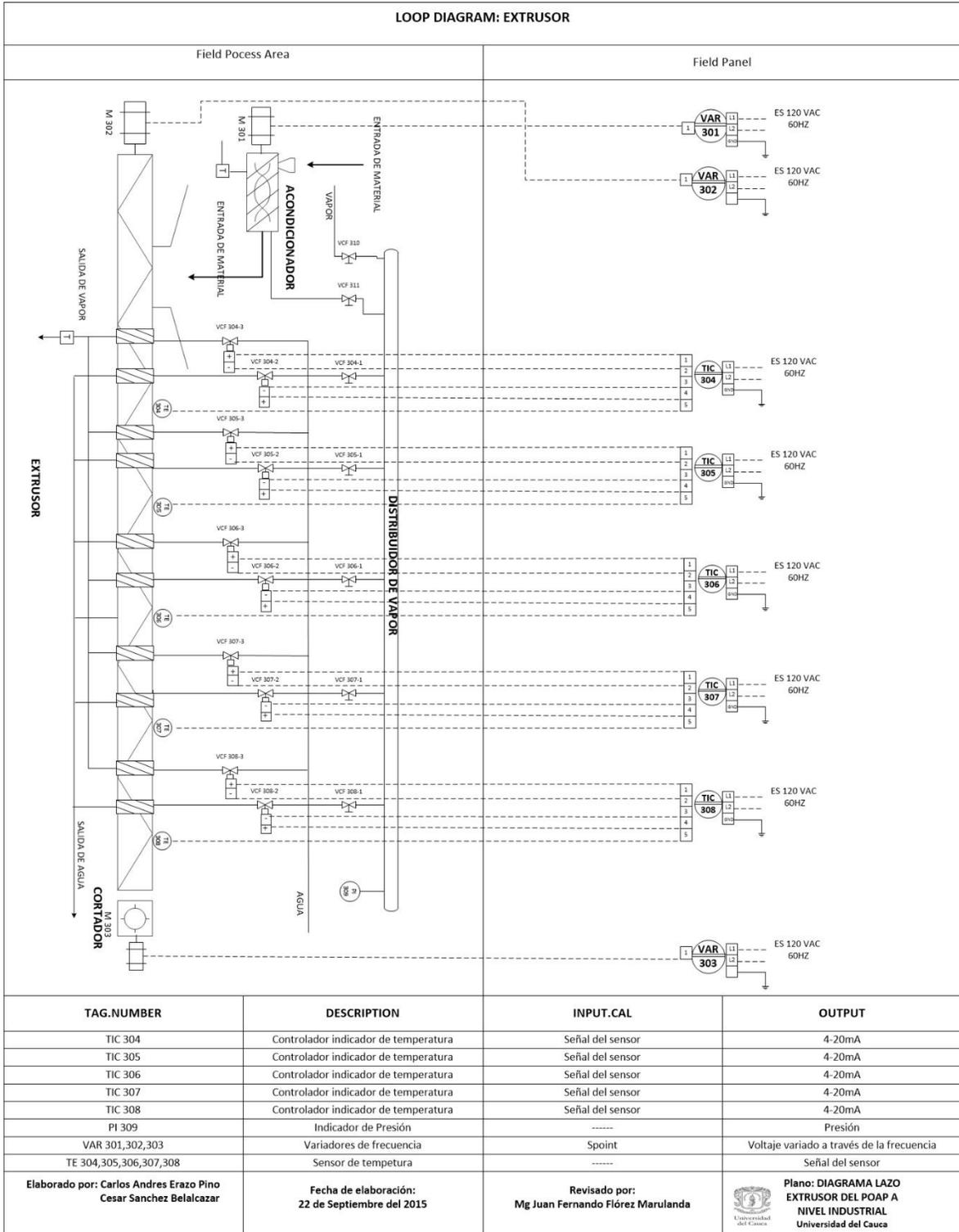
En las figuras 54 y 55 se presentan los diagramas P&ID y de lazo para el extrusor double screw extruder LTA85

Figura 54 Diagrama P&ID del extrusor double screw extruder LTA85



Elaboración propia, Septiembre 2015

Figura 55 Diagrama de lazo del extrusor double screw extruder LTA85



Elaboración propia, Septiembre 2015

En la tabla 22 se presenta la descripción conceptual para el secador mesh belt-type feed pellets dryer

**Tabla 23 Descripción conceptual del secador mesh belt-type feed pellets dryer**

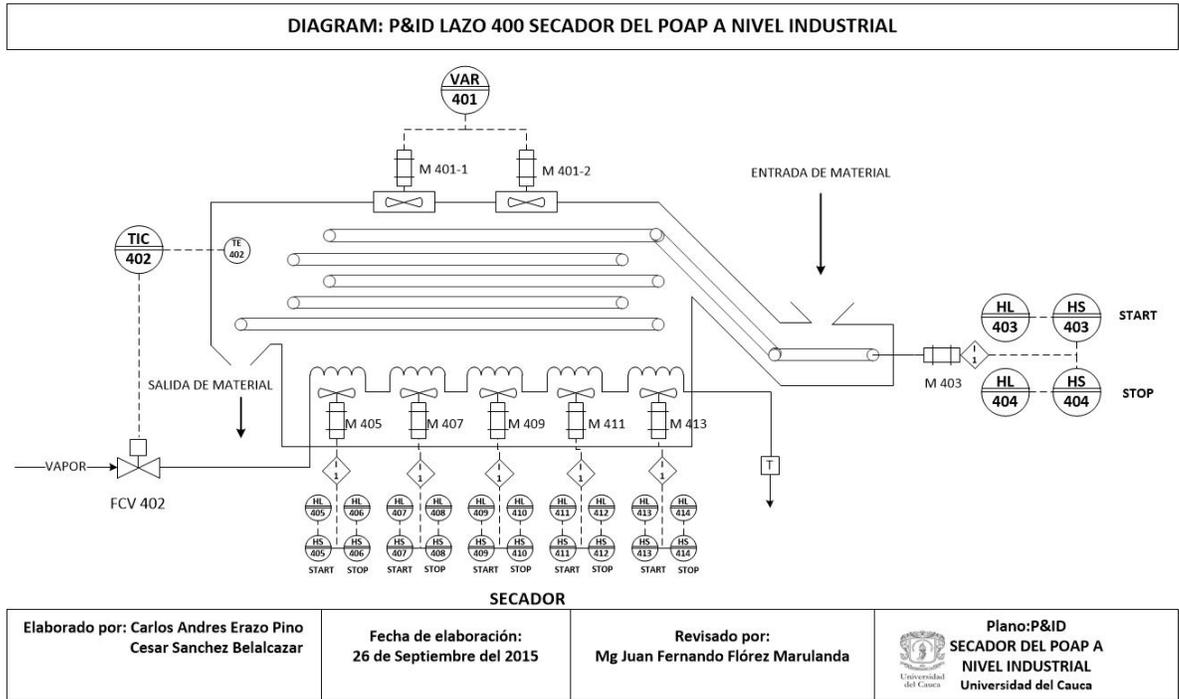
<b>SECADOR</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</b>
	Se realiza el secado de los pellets con el fin de reducir el contenido de humedad luego de su extrudido y corte, se reduce la humedad del 26% hasta 8%, siendo éste último el valor final ideal del contenido de humedad del producto terminado. Los pellets son ingresados por una tolva, éstos caen a un sistema de bandas por las cuales circula aire caliente, éste proveniente de ventiladores que se encuentran en la parte inferior del secador los cuales pasan el aire a través de serpentines con flujo interno de vapor que lo calientan, el aire húmedo se evacua a través de ventiladores con velocidad variable ubicados en la parte superior del secador, los pellets secos son evacuados por la parte inferior al terminar su recorrido por el sistema de bandas.
	<b>DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO</b>
	Secador con capacidad de 1 ton/h, cuenta con un motor trifásico (M 403) que se utiliza para dar tracción de sistema de bandas por medio de cadenas, el cual se prende y apaga a través de un sistema de botoneras (HS 403, HS 404), tiene luces indicadoras (HL 403, HL 404), cinco (5) motores (M 405, M 407, M 409, M 411, M 4013) los cuales son gobernados por un sistema de botonera independientes, éstos se utilizan para impulsar el aire caliente, dos (2) motores (M 401-1, M401-2) con velocidad variable gobernados por un variador de frecuencia (VAR 401) utilizados para extraer el aire húmedo, una servoválvula (FCV 402) que regula el flujo de vapor, ésta es gobernada por un controlador indicador de temperatura (TIC 402) el cual recibe la señal de un sensor (TE 402).
	<b>VARIABLES CONTROLADAS</b>
	Velocidad de los motores (M 401-1, M401-2), temperatura del interior del horno
	<b>VARIABLES MANIPULADAS</b>
	Frecuencia (Hz) de los motores (M 401-1, M401-2), Caudal vapor caliente de entrada
	<b>VARIABLES DE DISTURBIO</b>
	Caudal de aire que entra (crítico), caudal de aire de salida (crítico), temperatura de entrada del material (no crítico), pérdida de la tensión eléctrica (no existente), obstrucción de las aspas por material no adecuado (no existente).
	<b>ESQUEMA DE CONTROL</b>
	feedback.
	<b>ESCENARIO DE AUTOMATIZACIÓN</b>
Stand alone	

Elaboración propia, Septiembre 2015

## DIAGRAMAS P&ID Y DE LAZO

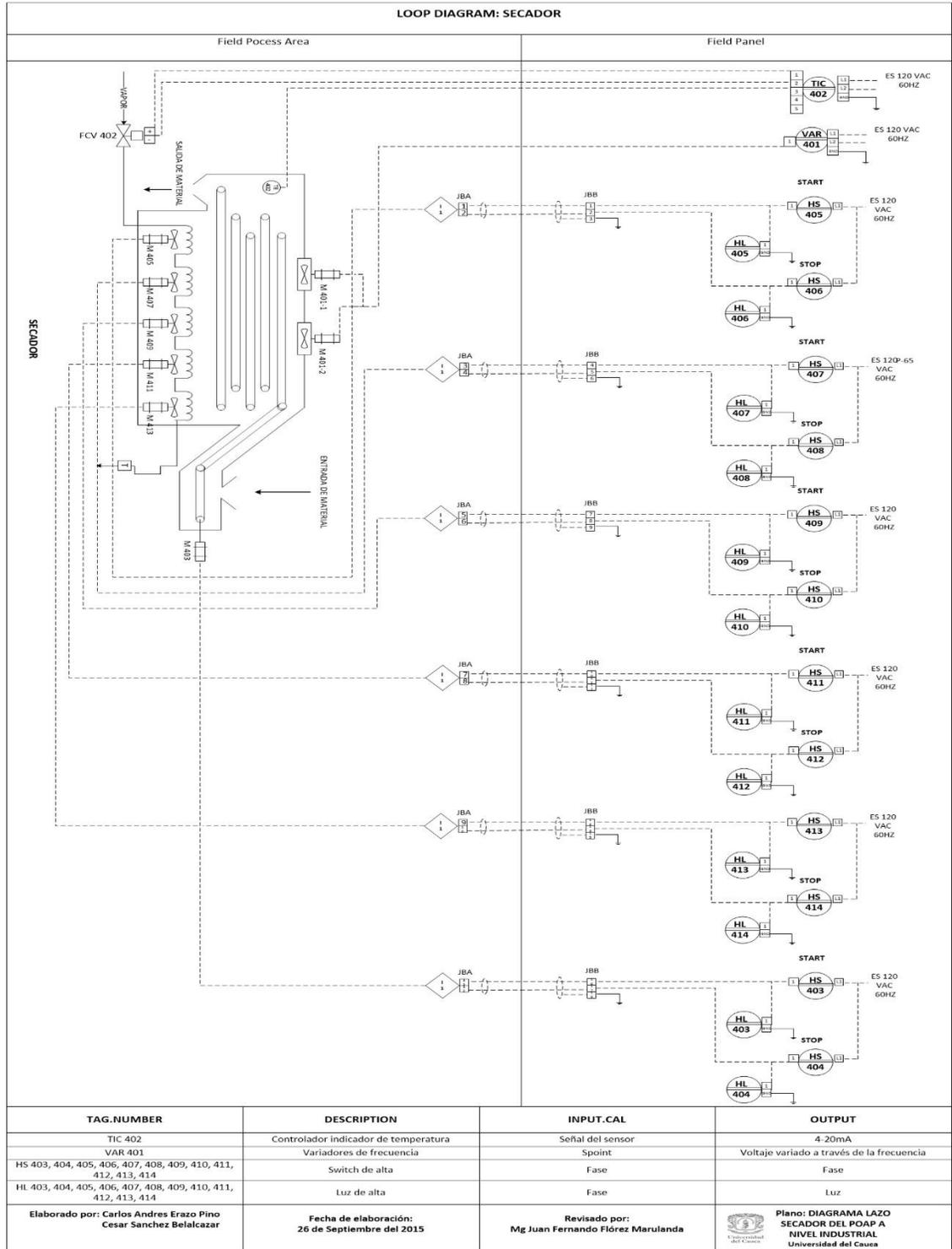
En las figuras 56 y 57 se presentan los diagramas P&ID y de lazo para el secador mesh belt-type feed pellets dryer

Figura 56 Diagrama P&ID del secador mesh belt-type feed pellets dryer



Elaboración propia, Septiembre 2015

Figura 57 Diagrama de lazo del secador mesh belt-type feed pellets dryer



Elaboración propia, Septiembre 2015

En la tabla 23 se presenta la descripción conceptual para el enfriador de contraflujo modelo SKLN 11

**Tabla 24 Descripción conceptual enfriador de contraflujo modelo SKLN 11**

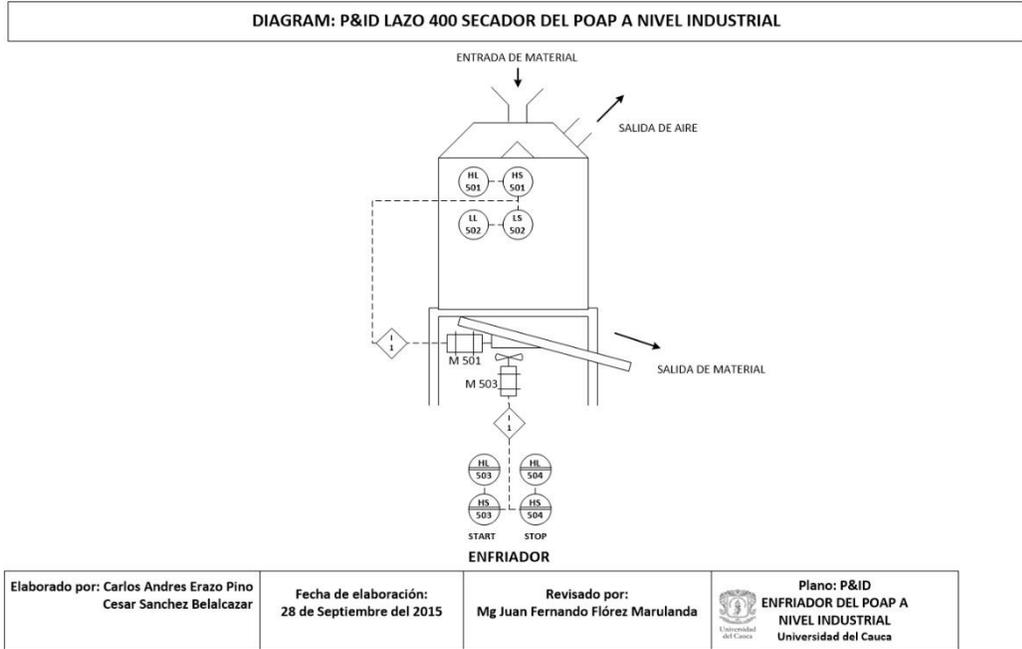
<b>ENFRIADOR</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</b>
	Se ingresan los pellets por una tolva ubicada en la parte superior del enfriador, éstos caen sobre una estructura triangular la cual distribuye el material ingresado en dos motones que caen sobre un tamiz en la parte inferior del equipo, el enfriado se realiza a través de la circulación de aire por medio de un ventilador ubicado en la parte inferior del equipo, éste aire sale por un orificio ubicado en la parte superior del equipo, cuando los pellets alcanzan un nivel determinado, se enciende o se apaga un motor que permite la salida de los pellets.
	<b>DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO</b>
	Enfriador con una capacidad de 1 ton/h, cuenta con un sistema de evacuación de pellets compuesto por dos switches de alta (HS 501) el cual se activa cuando los pellets alcanzan un nivel alto determinado y de baja (HL 502) el cual se activa cuando los pellets alcanzan un nivel bajo determinado, éstos switches se utilizan para prender y apagar un motor (M 501) que se utiliza para la evacuación de pellets, un motor (M 503) el cual se prende y apagar a través de un sistema de botoneras (HS 503, HS 504) para el impulso de aire frío.
	<b>VARIABLES CONTROLADAS</b>
	Nivel de pellets
	<b>VARIABLES MANIPULADAS</b>
	Fase
	<b>VARIABLE DE DISTURBIO</b>
	Caudal de aire que entra (crítico), caudal de salida (no crítico), temperatura de entrada del material (no crítico), pérdida de la tensión eléctrica(no existente), obstrucción de las aspas por material no adecuado (no existente).
	<b>ESQUEMA DE CONTROL</b>
	Feedback
	<b>ESCENARIO DE AUTOMATIZACIÓN</b>
Stan alone	

Elaboración propia, Septiembre 2015

## DIAGRAMAS P&ID Y DE LAZO

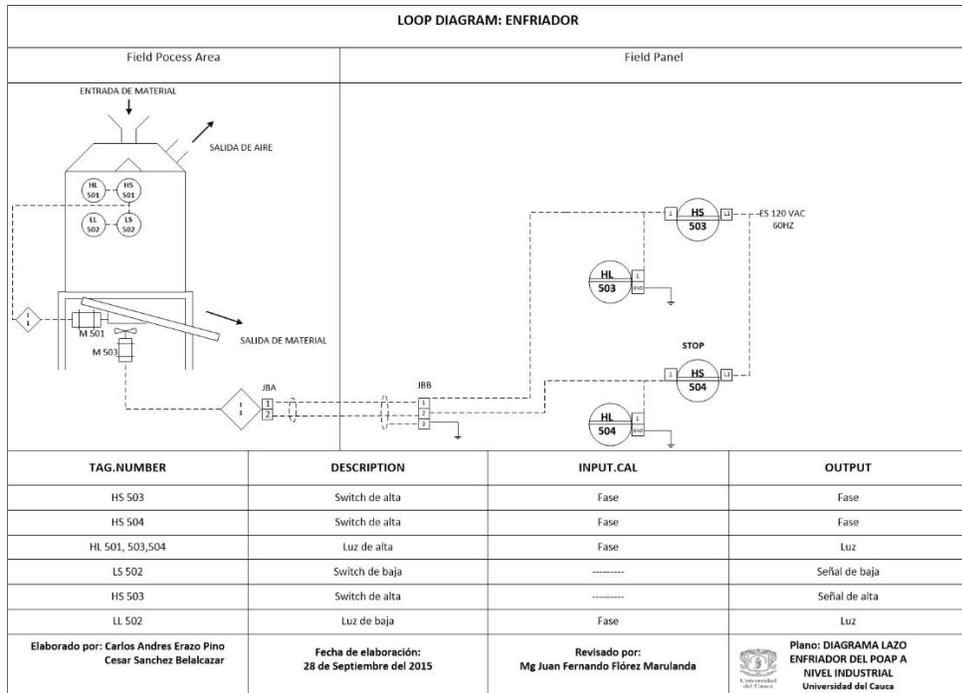
En las figuras 58 y 59 se presentan los diagramas P&ID y de lazo para el enfriador de contraflujo modelo SKLN 11

Figura 58 Diagrama P&ID del enfriador de contraflujo modelo SKLN 11



Elaboración propia, Septiembre 2015

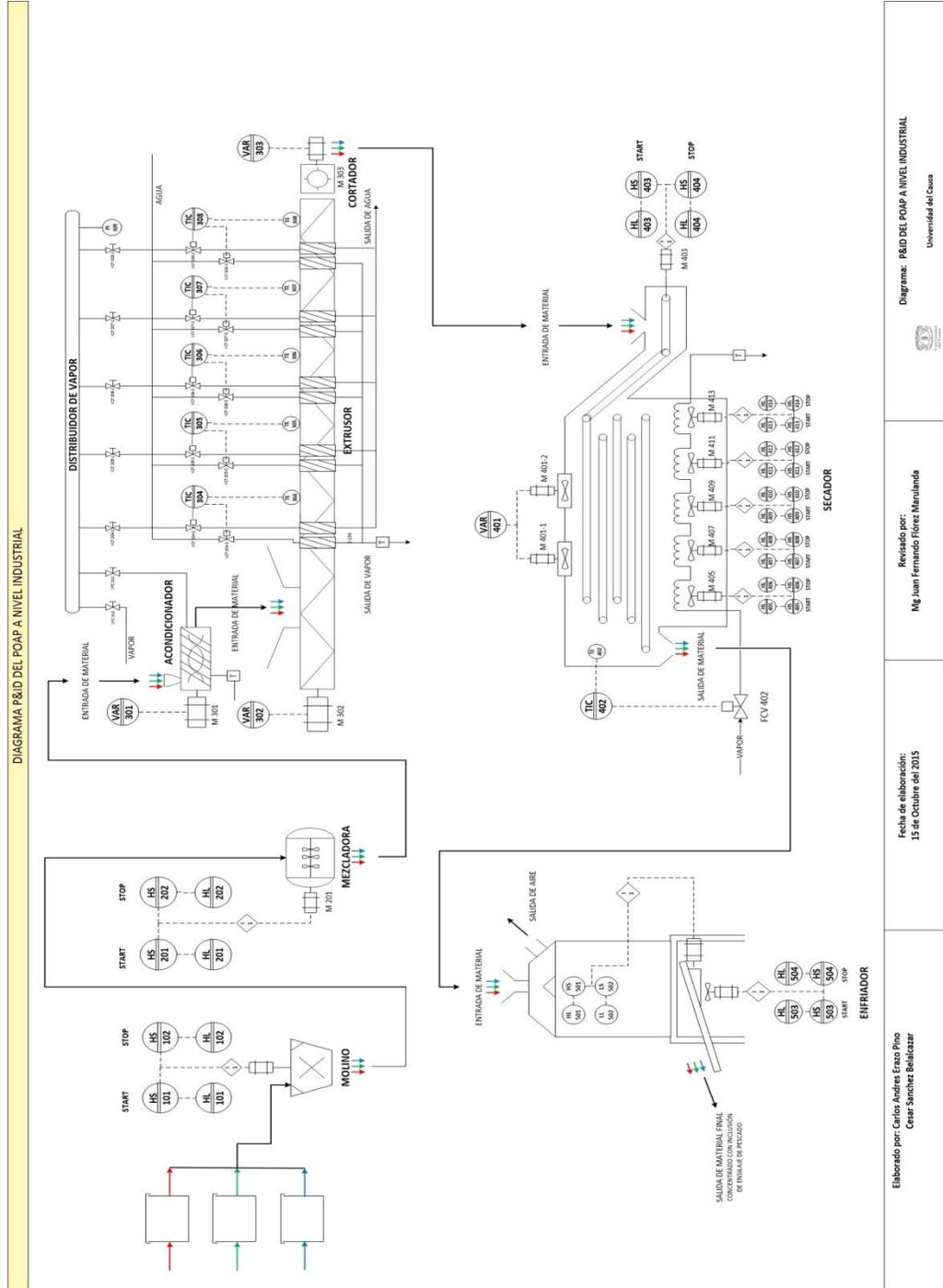
Figura 59 Diagrama de lazo del enfriador de contraflujo modelo SKLN 11



Elaboración propia, Septiembre 2015

# P&ID GENERAL DEL POAP A NIVEL INDUSTRIAL

A continuación se presenta el P&ID general del POAP a nivel industrial.



Elaboración propia, Septiembre 2015

### 3.4.3 Modelado ISA S88.01 del POAP a nivel industrial

Para realizar el modelado con ISA S88.01 del POAP a nivel industrial en la PPA, se tuvo en cuenta el modelado del proceso hecho en el laboratorio y la visita a la planta procesadora de alimento para peces “ALIMENTOS CONCENTRADOS DEL SUR.SA” ubicada en Garzón (Huila). A continuación se realizan los tres modelos (de control de proceso, físico, de control de procedimiento).

### Modelo de control de proceso del POAP a nivel industrial

En la tabla 24 se presenta el modelo de control de proceso del POAP a nivel industrial, las operaciones de proceso y las acciones de proceso se hicieron a partir del estudio del proceso a nivel de laboratorio y la visita a la planta del Huila, se identificaron cuatro (4) etapas de proceso, once (11) operaciones de proceso y treinta (30) acciones de proceso.

Tabla 25 Modelo de control de proceso del POAP a nivel industrial

Proceso	Etapas de proceso	Operaciones de proceso	Acciones de proceso
Obtención de alimento para peces	Recepción y Acidificado	Recepción de vísceras	Recibido de vísceras y huesos
			Medición de la masa de las vísceras y huesos
		Acidificado de vísceras	Verificado de espacio vacío de recipiente del 30%
			Medición de ácido fórmico
			Adición de ácido fórmico
			Mezclado de vísceras con ácido fórmico
			Almacenado del ensilaje
		Extraído de aceite y material sólido	Retirado de material sobrenadante (aceite)
			Filtrado del ensilaje
	Obtención de la dieta	Molido de materias primas	Medido de la masa del ensilaje según fórmula
			Medido de la masa de materias primas y aditivos según fórmula
			Ingresado materias primas al molino
			Molido de materias primas
			Recolectado de material molido
		Mezclado de materias primas, aditivos y ensilaje	Ingreso del material molido, aditivos y ensilaje a la mezcladora
			Mezclado de material molido, aditivos y ensilaje
			Recolectado de la dieta
		Acondicionado de la dieta	Ingreso de la dieta a la tolva de suministro del acondicionador
			Acondicionamiento de la dieta
			Salida de la dieta acondicionada
		Extrusión y cortado del cordón	Extrudido de la dieta
	Extrudido de la dieta acondicionada		
	Salida del cordón extrudido		

		Cortado de cordón	Cortado del cordón extrudido
			Recolectado de los pellets
	Empacado	Secado de pellets	Ingresado de pellets al secador
			Recolectado de los pellets secos
		Enfriado y empacado de pellets	Ingresado de pellets al enfriador
			Recolectado de los pellets a temperatura ambiente
	Empacado de pellets	Empacado de los pellets	

Elaboración propia, Octubre 2015

### Modelo físico del POAP a nivel industrial

En la tabla 25 se presenta el modelo físico del POAP a nivel industrial con los equipos seleccionados en el ítem 3.2, se identificaron cuatro (4) unidades y once (11) operaciones de proceso.

Tabla 26 Modelo físico del POAP a nivel industrial

Célula de proceso	Unidad	Módulo de Equipo	Módulo de Control
Obtención de alimento para peces	Unidad de recepción y acidificado	Módulo de recepción de vísceras	Operario
			Sensor de peso
		Módulo de Acidificado de vísceras	Operario
	Módulo de extraído de aceite y material solido	Operario	
	Unidad de obtención de la dieta	Módulo de molido materias primas	Operario
			Motor
		Módulo de mezclado de materias primas, aditivos ensilaje	Operario
			Motor
		Módulo de acondicionado de la dieta	Operario
	Válvula de control de flujo		
	Motor		
	Unidad de extrusión y cortado del cordón	Módulo de extrudido de la dieta	Variador
			Sensores de temperatura
			Válvulas de control de flujo
			Operario
Módulo de cortado de cordón		Motor	
		Variador	
		Operario	
Unidad de empacado	Módulo de secado de pellets	Sensor de temperatura	
		Válvulas de control de flujo	
		Motores	
	Módulo de enfriado y empacado de pellets	Operario	
		Motor	
	Módulo de empacado de pellets	Operario	
Sensor de peso			

Elaboración propia, Octubre 2015

## Modelo de control de procedimiento del POAP a nivel industrial

En la tabla 26 se presenta el modelo de control de procedimiento del POAP a nivel industrial, las operaciones y las fases se hicieron a partir del estudio del proceso a nivel de laboratorio y la visita a la planta del Huila, se identificaron cuatro (4) procedimientos de unidad, once (11) operaciones y treinta y una (31) fases.

Tabla 27 Modelo de control de procedimiento del POAP a nivel industrial

Procedimiento	Procedimiento de unidad	Operación	Fase
Obtención de alimento para peces	Recepción y acidificado	Recepción de vísceras	Recibir vísceras y huesos
			Medir la masa de las vísceras y huesos
		Acidificar vísceras	Verificar espacio vacío de recipiente del 30%
			Medir ácido fórmico
			Adicionar ácido fórmico
			Mezclar vísceras con ácido fórmico
			Almacenar el ensilaje durante 5 días
		Extraer aceite y material sólido	Retirar material sobrenadante (aceite)
			Filtrar ensilaje
	Obtención de la dieta	Moler materias primas	Medir la masa del ensilaje según fórmula
			Medir la masa de materias primas y aditivos según fórmula
			Ingresar materias primas al molino
			Moler materias primas
			Recolectar material triturado
		Mezclar materias primas, aditivos ensilaje	Ingresar material molido, aditivos y ensilaje
			Mezclar de material molido, aditivos y ensilaje
		Acondicionar de la dieta	Recolectar de la dieta
			Ingresar dieta a la tolva de suministro del acondicionador
	Extrusión y cortado del cordón	Extrudir la dieta	Acondicionar dieta
			Salida de dieta acondicionada
			Ingresar de dieta acondicionada al extrusor
			Extrudir la dieta acondicionada
		Cortar cordón	Ingresar mezcla al extrusor
Salida de cordón extrudido			
Empacado	Secar pellets	Cortar cordón extrudido	
		Recolectar pellets	
	Enfriar pellets	Ingresar pellets al secador	
		Recolectar pellets secos	
	Empacar pellets	Ingresar pellets al enfriador	
		Recolectar pellets a temperatura ambiente	
		Empacar pellets	

Elaboración propia, Octubre 2015

De la visita técnica realizada a la planta procesadora de alimento “ALIMENTOS CONCENTRADOS DEL SUR S.A”, con respecto a “Modelado del Proceso” permite concluir:

1. El modelado hecho para el POAP a nivel de laboratorio en el ítem 2.1 y 2.2, presenta una similitud considerable con el proceso realizado en la planta procesadora de alimento de Garzón en cuanto a: el diagrama de flujo de proceso (ver Figura 35 y Anexo F), las operaciones de proceso propuestas para el modelo de control de procesos a nivel de laboratorio: “pesado de materias primas”, “mezclado de materias primas”, “extrudido de la dieta”, “cortado de cordón”, “secado de pellets”, “empacado de pellets” (ver tabla 2), las operaciones propuestas para el modelo de control de procedimiento a nivel de laboratorio: “pesar materias primas”, “mezclar materias primas”, “extrudir la dieta”, “cortar cordón”, “secar pellets”, “empacar pellets” (ver tabla 4). Por lo que se puede concluir que el modelado propuestos para el POAP a nivel industrial con base a los modelos a nivel de laboratorio y de la planta procesadora de alimento de Garzón, están bien estructurados.

Por otro lado, dado que el POAP a nivel industrial se encuentra en una primera etapa de diseño, el nivel de detalle de los modelos planteados no es alto, por lo que se esperaría que las acciones de proceso del modelo de control de procesos del POAP a nivel industrial y las fases del modelo de control de procedimiento del POAP a nivel industrial cambie un poco cuando se avance en las siguientes etapas de implementación de la PPA y se ponga en marcha el proceso.

Con la elaboración de los tres modelos ISA S 88(de control de proceso, físico, de control procedimental) del POAP a nivel industrial, se da por terminado el tercer capítulo en donde: se hizo la definición del escalamiento para el POAP, la distribución de planta, requerimientos de equipos, y el modelado del POAP a nivel industrial.

## **4 CONCLUSIONES**

En el presente trabajo se realizó la descripción y modelado del Proceso de Obtención de Alimento para Peces (POAP) desarrollado por los investigadores a nivel de laboratorio a través de: el diagrama de flujo de proceso, modelos propuestos por el estándar ISA 88.01 (Modelo de control de proceso, Modelo Físico, Modelo de control de procedimiento). Teniendo como resultado una documentación formal y detallada del proceso que permitió evidenciar falencias en la documentación y procedimientos desarrollados a nivel de laboratorio.

Se realizó un diagnóstico del POAP a nivel de laboratorio con el fin de determinar el nivel de dificultad de las fases y el nivel de automatización, además del: análisis de los modelos (de control de procesos, físico y de control de procedimiento), análisis general del proceso en cuanto a la documentación, mantenimiento y mejoras de algunas fases, que arrojó como resultados datos estadísticos que dieron pie para proponer requerimientos (generales, de automatización, de hardware) para el proceso plasmados en el Anexo C (REQUERIMIENTOS GENERALES Y REQUERIMIENTOS DE AUTOMATIZACIÓN DEL POAP A NIVEL DE LABORATORIO). Entre los que se destacan: realizar un formato formal de planeación de la ejecución de las etapas del proceso, que garantice la disponibilidad de equipos y el buen desarrollo del mismo, realizar formatos estándar para el seguimiento y registro de los parámetros (humedad, proteínas, masa, porcentaje de aceite, etc) y anomalías del proceso, realizar un formato de control de inventario de materias primas e insumos, identificar las variables de proceso (manipuladas, controladas y de disturbio) de los equipos principales.

Se realizó la selección y modelado con ISA S5.1 de cinco (5) equipos principales (molino, mezcladora, extrusor, secador y enfriador) para la producción de alimento para peces. Para ello se aplicó un procedimiento de selección teniendo en cuenta cuatro (4) criterios: costo, flexibilidad, fabricante y capacidad; y se escogieron los equipos según ponderado, resultando básicamente equipos de operación manual.

Posteriormente se realizó la descripción y modelado del POAP a nivel industrial, con base en la información obtenida a nivel de laboratorio, desarrollando el diagrama de flujo de proceso y los tres modelos propuestos por el estándar ISA 88.01. Teniendo como resultado una documentación formal y detallada del proceso POAP a nivel industrial que requirió de una posterior etapa de verificación.

La visita realizada a la planta procesadora de alimentos “ALIMENTOS CONCENTRADOS DEL SUR S.A” ubicada en Garzón (Huila), fue clave para comparar, verificar y mejorar la propuesta del proceso POAP a nivel industrial. Verificando que éste presenta una similitud considerable, con el proceso realizado en la planta procesadora de alimento de Garzón (Huila) en: diagrama de flujo de proceso, operaciones de proceso propuestas del modelo de control de procesos y operaciones propuestas para el modelo de control de procedimiento a nivel de laboratorio. Sin embargo, se evidenció que si se desea producir a la capacidad total de los equipos (1 ton/h), se hace necesario adquirir un sistema de transporte de materias primas que permita un flujo constante de éstas. Por otro lado se observó la necesidad de contar con un sistema de recolección de partículas finas (polvo de harina) .Finalmente se puede concluir que el modelado del POAP a nivel industrial diseñado, con base a los modelos a nivel de laboratorio y las observaciones obtenidas de la visita a la planta procesadora de alimento de Garzón, están bien estructurados.

La utilización de los estándares ISA 88.01 e ISA 5.1 fue clave para levantar información y documentar el proceso a nivel de laboratorio, permitiendo realizar una propuesta a nivel industria de una forma organizada y estandarizada.

## 5 RECOMENDACIONES

Se recomienda a los investigadores utilizar los formatos que se diseñaron para: la planeación de la ejecución de las etapas del proceso, el seguimiento y registro de los parámetros de las etapas del proceso, el control de inventario de materias primas e insumos, plasmados en el Anexo C (REQUERIMIENTOS GENERALES Y REQUERIMIENTOS DE AUTOMATIZACIÓN DEL POAP A NIVEL DE LABORATORIO).

La capacidad de producción de los equipos es de 1 ton/h, por lo que en un turno de trabajo se debe de transportar 80000 Kg por cada uno de los equipos. Si se desarrolla el proceso de transporte manual, se tendría adicionar tres (3) operarios generando gastos adicionales del producto dado que el transporte de material no da valor agregado. Por lo tanto, se recomienda diseñar e instalar un sistema de transporte basado en cangilones y almacenamiento de material en tolvas que permita aliviar el esfuerzo físico y el flujo constante de materiales.

Se realizó la descripción conceptual y el modelado con ISA S5.1 para los cinco (5) equipos seleccionados con información contrastada del laboratorio y una planta real, además de información suministrada por los proveedores y manuales de los equipos. Sin embargo, esta información no es suficiente para modelar a detalle los equipos. Por lo tanto, se recomienda, una vez instalados los equipos, verificar y realizar la descripción conceptual y levantar nuevos modelos, en especial los diagramas P&ID y de lazo.

Dado que el POAP a nivel industrial se encuentra en una primera etapa de diseño, el nivel de detalle de los modelos planteados siguiendo el estándar ISA 88.01 no es alto. Por lo tanto, se recomienda que luego de poner en marcha el proceso de obtención de alimento para peces a nivel industrial, se verifiquen los modelos en general, en especial las acciones de proceso del modelo de control de procesos y las fases del modelo de control de procedimiento.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. C. Merino, S. P. Bonilla, and F. Bages, “Diagnóstico del estado de la Acuicultura en Colombia,” 2013.
- [2] ASUBRAGROIN, “Alternativas para el uso de subproductos derivados de la agroindustria piscícola.” p. 58, 2012.
- [3] FAO, “Utilización del pescado,” *Depositos de documentos de la FAO*, 2002. [Online]. Available: <http://www.fao.org/docrep/005/y7300s/y7300s05.htm>. [Accessed: 06-Aug-2015].
- [4] A. Bocek, “Acuicultura,” 2007. [Online]. Available: [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_peces/piscicultura/60-acuicultura.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/60-acuicultura.pdf). [Accessed: 06-Aug-2015].
- [5] M. E. Mosco Gómez, “La piscicultura.” Santo Domingo, p. 11, 2005.
- [6] M. A. Esquivel, “La pesca y la acuicultura en Colombia,” 2014.
- [7] H. J. Muñoz Gómez and J. C. Astaiza Bernal, “Estudio de la mortalidad en alevinos de tilapia roja (*Oreochromis sp*) , cultivados en jaulas flotantes por la asociación piscícola de la salvajina morales (ASOPISMO), departamento del Cauca,” Universidad del Cauca, 2008.
- [8] Sistema General de Regalias, “Piscicultura, sinónimo de progreso en el Cauca,” *Comunicado de prensa*, 2014. [Online]. Available: <https://www.sgr.gov.co/Prensa/ComunicadosdePrensa/tabid/82/EntryId/604/Piscicultura-sinonimo-de-progreso-en-el-Cauca.aspx>. [Accessed: 06-Aug-2015].
- [9] “Manual de tecnicas para laboratorio de nutricion de peces y crustaceos.” [Online]. Available: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab489s/AB489S01.htm>. [Accessed: 06-Jul-2015].
- [10] L. Luchini, “Acuicultura y nutrición: formulas y raciones formuladas para especies de clima subtropical y templado.” p. 9, 2011.
- [11] W. Noel Guevara, “Formulación y elaboración de dietas para peces y crustáceos.” Tacna-Perú, p. 55, 2003.
- [12] “Obtención de harina de yuca para el desarrollo de productos dulces destinados para la alimentación de celíacos.” [Online]. Available:

[http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6391/1/Obtenci%C3%B3n de harina de yuca para el desarrollo de productos dulces.pdf](http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6391/1/Obtenci%C3%B3n%20de%20harina%20de%20yuca%20para%20el%20desarrollo%20de%20productos%20dulces.pdf). [Accessed: 06-Jul-2015].

- [13] “De tales harinas, tales pane.” [Online]. Available: [https://www.iseki-food.net/webfm\\_send/1729](https://www.iseki-food.net/webfm_send/1729). [Accessed: 06-Jul-2015].
- [14] “Harina de maíz .” [Online]. Available: <http://www.eternisaporidicalabria.com/prodotti-tipici-calabresi/farina-di-mais-kg-p-1053.html?language=es>. [Accessed: 06-Jul-2015].
- [15] “Harina de trigo.” [Online]. Available: <http://www.canimolt.org/harina/definicion>. [Accessed: 06-Jul-2015].
- [16] “Uso de la pasta de Soya en alimentación animal .” [Online]. Available: <http://1h6sjn1h2drrrzvb91xoz9916qy.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/sites/8/2014/02/La-Pasta-de-Soya-en-la-Alimentaci%C3%B3n-Animal-2014.pdf>. [Accessed: 07-Jul-2015].
- [17] “Alimentos Balanceados – Formulación de Raciones – Núcleos y Premezclas - Temas generales - Publicaciones y Artículos.” [Online]. Available: <http://www.nuviga.com.ar/snews/generales/alimentos-balanceados-formulacion-raciones-nucleos-premezclas/>. [Accessed: 07-Jul-2015].
- [18] “Carbonato de calcio.” [Online]. Available: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/druginfo/meds/a601032-es.html>. [Accessed: 07-Jul-2015].
- [19] “Bentonita.” [Online]. Available: <http://www.quiminet.com/articulos/que-es-la-bentonita-2701002.htm>. [Accessed: 07-Jul-2015].
- [20] “Cloruro sódico y su formación.” [Online]. Available: <http://quimica.laguia2000.com/quimica-inorganica/cloruro-sodico-y-su-formacion>. [Accessed: 07-Jul-2015].
- [21] “Gluten de maíz 60 | FEDNA.” [Online]. Available: [http://www.fundacionfedna.org/ingredientes\\_para\\_piensos/gluten-de-ma%C3%ADz-60](http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/gluten-de-ma%C3%ADz-60). [Accessed: 07-Jul-2015].
- [22] “Subproductos del grano de maíz.” [Online]. Available: <http://www.fagro.edu.uy/~nutanimal/Aguerre.Fiol.SUBPROMAIZ.pdf>. [Accessed: 07-Jul-2015].

- [23] “Materias primas, subproductos y forrajes más utilizados en la alimentación animal .” [Online]. Available: <http://nanutricionanimal.blogspot.com/2008/11/materias-primas-sub-productos-y.html>. [Accessed: 07-Jul-2015].
- [24] “Aceite de Palma | INDUPALMA.” [Online]. Available: <http://www.indupalma.com/aceite-de-palma>. [Accessed: 07-Jul-2015].
- [25] Indupan, “Harina de trigo y maíz fortificada.” [Online]. Available: [http://www.indupan.com/productos\\_indupan\\_mogolla.html](http://www.indupan.com/productos_indupan_mogolla.html). [Accessed: 07-Jul-2015].
- [26] M. Spanopoulos Hernandez, J. T. Ponce Palafox, and G. Barba Quintero, “Producción de ensilados biológicos a partir dedesechos de pescado, del ahumado de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y del fileteado de tilapia (*Oreochromis* sp), para la alimentación de especies acuícolas,” *Rev. Mex. Ing. Qum.*, vol. 9, no. 52, pp. 167–178, 2010.
- [27] FAO, *Tratamiento y utilización de residuos de origen animal, pesquero y alimenticio en la alimentación animal*. La Habana, Cuba, 2008, p. 260.
- [28] R. Martinez Prada, “Producción de ensilado biológico a partir de vísceras de pescado de las especies *Prochilodus mariae* (coporo), *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado) y *Phractocephalus hemiliopterus* (cajaro),” Universidad Nacional de Colombia Sede Arauca, 2003.
- [29] Ainia, “Aplicación de la extrusión para el desarrollo de nuevos productos,” *Ainia i+d+i*. [Online]. Available: <https://www.ainia.es/html/i+d/fichas/extrusion.htm>. [Accessed: 07-Aug-2015].
- [30] G. Rokey, “Tegnología de la extrusión e implicaciones nutricionales,” *Sitio Argentino Prod. Anim.*, pp. 1–11, 1995.
- [31] J. L. Salazar Castro, “Montaje y puesta en marcha de una planta de balanceado con capacidad de 3 tn./3,” Pontifica Universidad Catolica del Perú, 2008.
- [32] J. Pantoja, S. Sánchez, and J. Hoyos, “Obtención de un alimento extruido para tilapia roja (*Oreochromis* spp) utilizando ensilaje biológico de pescado. Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial,” Universidad del Cauca, Popayán, 2011.

- [33] S. M. Sanchez Trujillo, "Informe tres, avance del proyecto "Alternativas para el uso de subproductos derivados de la agroindustria piscícola ID 3883 – SGR," Popayán, 2014.
- [34] F. Castelló Orvay, "Alimentos y estrategias de alimentación para reproductores y juveniles de peces marinos," *Memorias del IV Simp. Int. Nutr.*, pp. 550–569, 2000.
- [35] F. C. Llantén Castro, "Protocolo separador centrifugo cinc industries V02." p. 12, 2015.
- [36] F. a Meier and C. a Meier, *Instrumentation and Control Systems Documentation*. United States of America, 2004, p. 176.
- [37] ISA, *ISA-S88.01 Batch Control Part 1 : Models and Terminology*. 2006, p. 97.
- [38] P. P. Asensio and R. V. Arbós, *Automatización de procesos mediante la guía GEMMA*, vol. 28. Universitat Politecnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politecnica, 2006, p. 110.
- [39] J. H. Quiroz, "Hacia un concepto moderno de la Automatización Industrial," *Control Industrial*, 2004. [Online]. Available: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=81>. [Accessed: 04-Aug-2015].
- [40] "Niveles de automatización ." [Online]. Available: <http://blog.utp.edu.co/cromero/files/2013/04/NIVELES-DE-AUTOMATIZACI%C3%93N.pdf>. [Accessed: 05-Aug-2015].
- [41] ISA, *ANSI/ISA-95.00.01 Enterprise-Control System Integration Part 1 : Models and Terminology*, no. July. 2008.
- [42] R. González Castellanos, "Principios básicos de escalado." [Online]. Available: <http://monografias.umcc.cu/monos/2001/MONOGRAFIA10.htm>. [Accessed: 24-Aug-2015].
- [43] R. Kaplinsky and M. Morris, "A Handbook for Value Chain Research," no. September, 2002.
- [44] C. Pietrobelli and R. Rabellotti, "Upgrading in Clusters and Value Chains in Latin America The Role of Policies," p. 106, 2004.
- [45] R. López Salazar and J. Carrillo, "Industrial Upgrading and Labor: The Case of Tijuana's Electronics Industry," *Front. Norte*, vol. 22, 2010.

- [46] ASUBAGROIN, "Estudio de factibilidad de planta piloto procesadora de concentrado." Popayán, p. 121, 2014.
- [47] R. Chase, R. Jacobs, and N. Aquilano, *Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros*, 12th ed. Mexico, 2009, p. 800.