

**PROPUESTA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE TRANSPORTE
NEUMÁTICO DE LA EMPRESA ALIMENTICIA EL COCINERITO. CASO DE
ESTUDIO.**

ANEXOS



**Álvaro José Chasqui Córdoba
Juan Camilo Perlaza Pasquel**

**Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Cauca
2017**

**PROPUESTA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE TRANSPORTE
NEUMÁTICO DE LA EMPRESA ALIMENTICIA EL COCINERITO. CASO DE
ESTUDIO.**

ANEXOS



**Álvaro José Chasqui Córdoba
Juan Camilo Perlaza Pasquel**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO EN AUTOMATICA INDUSTRIAL**

Director: Mg. 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
2017**

Tabla de contenido de anexos

Lista de figuras.....	v
Lista de tablas.....	vii
Anexo A	1
1 Fichas técnicas motores.....	1
1.1 Equipos de procesamiento	1
1.2 Equipos para empacado.....	2
1.2.1 Empaquetadora LAP	2
1.2.2 Empaquetadora Pultama:.....	5
1.2.3 Sistema neumático previo	6
Anexo B	7
2 Relación entre los modelos ISA-S88.01 para PROFASOI	7
Anexo C	11
3 Diagnóstico del PROFASOI	11
3.1 Nivel de dificultad en la realización del PROFASOI.....	11
3.2 Nivel de automatización del PROFASOI.....	14
3.3 Necesidad de automatización del PROFASOI.....	16
Anexo D	18
4 Cálculos consumo energético PROFASOI.....	18
4.1 Cálculo de los tiempos de funcionamiento de las empaquetadoras	18
4.1.1 Tiempos medidos para empaquetadora LAP	18
4.1.2 Tiempos medidos para empaquetadora PULTAMA	23
4.2 Estimación de tiempos totales de empaquetado	29
4.2.1 Tiempos totales de empaquetado	50
4.2.2 Tiempo de funcionamiento mensual de los equipos de PROFASOI ..	51
4.2.3 Tiempo de funcionamiento mensual, de los equipos del sistema previo.	52
4.2.4 Tiempo de funcionamiento mensual, de los equipos de la mejora de automatización.	52

4.3	Estimación del consumo mensual de energía de la empresa El Cocinerito	53
4.3.1	Estimación del consumo energético mensual, de los equipos del proceso actual en la empresa.	53
4.3.2	Estimación del consumo energético mensual, del proceso con el sistema neumático previo.....	55
4.3.3	Estimación del consumo energético mensual del proceso, con el sistema neumático mejorado.....	56
Anexo E	.....	59
5	Revisión sistemática de artículos de eficiencia energética.....	59
5.1	Introducción	59
5.2	Proceso de clasificación sistemática	59
5.2.1	Definición de la pregunta de investigación	59
5.2.2	Búsqueda en bases de datos.....	59
5.2.3	Criterios de exclusión e inclusión	61
5.2.4	Selección de artículos	62
5.2.5	Análisis y clasificación de artículos	64
5.2.6	Respuesta a la pregunta de investigación RQ1	64
Anexo F	.....	66
6	Procedimiento de diseño del sistema de transporte neumático del PROFASOI	66
6.1	Cálculo de volúmenes del circuito neumático.....	66
6.1.1	Volumen Tolva de Descarga	66
6.1.2	Volumen de la tubería	68
6.1.3	Volúmenes totales circuito neumático	73
6.2	Cálculo de densidades aparentes, para sólidos impalpables	73
6.3	Resultados de los cálculos sistematizados en Matlab, de las especificaciones de operación para la mejora de automatización.....	74
6.3.1	Velocidad mínima o velocidad final en la línea de transporte.....	75
6.3.2	Velocidad de transporte a la entrada de la tubería.....	75
6.3.3	Caudal del sistema neumático	75

6.3.4	Concentración	76
6.3.5	Velocidad de la partícula	77
6.3.6	Pérdidas por aceleración.....	77
6.3.7	Pérdidas de carga en tuberías verticales	78
6.3.8	Pérdidas de carga en tuberías horizontales	78
6.3.9	Pérdidas en codos.....	80
6.3.10	Calculo de presión de vacío.....	81
Anexo G	.....	83
7	Evaluación del desempeño de las tecnologías de vacío	83
7.1	Verificación del rango de las maquinas	83
7.1.1	Líneas independientes	83
7.1.2	Sistema centralizado.....	87
Anexo H	.....	91
8	Modelos ISA-S88.01 de PROFASOI, con la mejora de automatización propuesta.....	91
8.1	Modelo proceso del PROFASOI, con la mejora de automatización propuesta.....	91
8.2	Modelo físico del PROFASOI con la mejora de automatización propuesta. 92	
8.3	Modelo de control de procedimiento del PROFASOI, con la mejora propuesta.....	94
Anexo I	.....	96
9	Consideraciones generales, para la simulación del proceso en SuperPro Designer.	96
9.1	Asignación de las operaciones de los equipos del proceso.....	97
9.2	Configuración de las operaciones de los equipos del proceso.	98
9.3	Configuración de la potencia nominal, para los equipos del proceso.	98
9.4	Configuración del período de tiempo, para la estimación del consumo energético.....	99
Anexo J	.....	101
10	Anexo digital	101

10.1	Cálculos de caudal y presión en matlab	101
10.2	Simulación del circuito neumático en sketchup	101
10.3	Fotos de facturas de consumo.	101
10.4	Cotización del elemento suministrador de vacío asociado a la propuesta de automatización.....	101
10.5	Simulación de PROFASOI con mejora y sin mejora, en SuperPro Designer.	101
	Bibliografía.....	102

Lista de figuras

Figura 1 Relación entre modelos entre los tres modelos ISA S88.01 para la etapa de obtención de material triturado.....	8
Figura 2 Relación entre modelos entre los tres modelos ISA S88.01 para la etapa de homogeneización de material triturado.	8
Figura 3 Relación entre modelos entre los tres modelos ISA S88.01 para la etapa de obtención de polvo.....	9
Figura 4 Relación entre modelos entre los tres modelos ISA S88.01 para la etapa de ventilado de polvo.	9
Figura 5 Relación entre modelos entre los tres modelos ISA S88.01 para la etapa de empacado de polvo.....	10
Figura 6 Porcentaje del nivel de dificultad de PROFASOI.	14
Figura 7 Porcentaje del nivel de automatización de PROFASOI respecto a sus fases.	16
Figura 8 Porcentaje de los métodos encontrados en la revisión sistemática	65
Figura 9 Tolva dosificadora.....	66
Figura 10 Formas que componen la tolva de dosificadora.....	67
Figura 11 Líneas del sistema neumático previamente implementado.....	68
Figura 12 Menú del interfaz para el cálculo de parámetros de un sistema de transporte neumático	74
Figura 13 Obtención de la velocidad del flujo de transporte en la tubería.....	75
Figura 14 Obtención del caudal de aire en la tubería.....	76
Figura 15 Obtención de la concentración.....	76
Figura 16 Obtención de la velocidad de la partícula.	77
Figura 17 Obtención de las pérdidas por aceleración	77
Figura 18 Obtención de las pérdidas de carga en tuberías verticales.....	78
Figura 19 Obtención del factor de fricción del aire.	79
Figura 20 Obtención del factor de fricción de la partícula.	79
Figura 21 Obtención de las pérdidas por tubería horizontal.....	80
Figura 22 Obtención de pérdidas por codos	81
Figura 23 Bomba de vacío de paletas rotativas R5 RA 0063/0100 F.....	83
Figura 24 Bomba de vacío con rotores de uña Mink MM 1102BV.	84
Figura 25 Bomba de vacío con rotores de uña Mink MI 2122 BV.	84
Figura 26 Bomba de vacío de anillo líquido Dolphin LX 0140 B.	85
Figura 27 Blower de canal lateral Samos SB 0140 DO.....	85
Figura 28 Bomba de vacío de paletas lubricadas EKL 0200.....	86
Figura 29 Bomba de vacío de anillo líquido Monoblock TRMB TRVB 40-110.	86
Figura 30 Blower regenerativo EKZ 130-58.	87

Figura 31	Blower de paletas secas EKS 10.	87
Figura 32	Bomba de vacío de tornillo Cobra NX 0450 A.....	88
Figura 33	Bomba de vacío de paletas rotativas Huckepack HO0437F	88
Figura 34	Blower de canal lateral Samos SB0530DO.....	89
Figura 35	Bomba de vacío de paletas lubricadas EKL500.....	89
Figura 36	Blower regenerativo EKZ620-114.	90
Figura 37	Blower de canal lateral 2BH1800-7AH07.....	90
Figura 38	Bomba de vacío C-VLR 401.	90
Figura 39	Asignación de las operaciones.	97
Figura 40	Operaciones disponibles para el molino de discos.	97
Figura 41	Relación de las operaciones con las fases del modelo de control de procedimientos.....	98
Figura 42	Configuración de la operación moler material, al molino de discos	98
Figura 43	Configuración de la operación asociada a la actividad que consume energía eléctrica	99
Figura 44	Configuración de la potencia nominal y tiempo de operación, para el molino de discos.	99
Figura 45	Acceso a los parámetros de la receta.....	100
Figura 46	Configuración del periodo de tiempo en SuperPro.	100

Lista de tablas

Tabla 1 Ficha técnica motor molino de martillos.....	1
Tabla 2 Ficha técnica motor mezclador Ribbon Blender 1.	1
Tabla 3 Ficha técnica motor mezclador Molino de discos.	2
Tabla 4 Ficha técnica motor mezclador Ribbon Blender 2.	2
Tabla 5 Ficha técnica motor principal empaquetadora LAP.	3
Tabla 6 Ficha técnica motor de arrastre empaquetadora LAP.	3
Tabla 7 Ficha técnica motor de dosificación empaquetadora de sólidos impalpables.	3
Tabla 8 Ficha técnica motor agitador empaquetadora de sólidos impalpables.	4
Tabla 9 Ficha técnica motor de la banda transportadora de la empaquetadora de sólidos impalpables.....	4
Tabla 10 Ficha técnica motor de compresor para etiquetado.....	4
Tabla 11 Ficha técnica motor principal empaquetadora de granos.	5
Tabla 12 Ficha técnica motor de arrastre empaquetadora de granos.	5
Tabla 13 Ficha técnica motor de dosificación empaquetadora de granos.....	5
Tabla 14 Ficha técnica motor banda transportadora.	6
Tabla 15 Ficha técnica motor del compresor de tornillo.	6
Tabla 16 Convenciones para relacionar los niveles de los modelos ISA-S88.01.	7
Tabla 17 Respuestas de dificultad en realización de las fases de PROFASOI.	11
Tabla 18 Nivel de dificultad en la realización de las fases del PROFASOI.	12
Tabla 19 Nivel de automanitación de las fases de PROFASOI.	15
Tabla 20 Respuestas sobre necesidad de automatizar algunas fases de PROFASOI.	16
Tabla 21 Gramajes disponibles de solidos impalpables, realizados en la empaquetadora LAP.	18
Tabla 22 Tiempo promedio de empacado de una unidad de Pollo crispi x 700 g..	19
Tabla 23 Tiempo promedio de empacado de una unidad Pollo crispi x 600 g.	19
Tabla 24 Tiempo promedio de empacado de una unidad de Color x 500 g.	19
Tabla 25 Tiempo promedio de empacado de una unidad de color x 100 g.	20
Tabla 26 Tiempo promedio de empacado de una unidad de aliño 7 hiervas x 60 g.	20
Tabla 27 Tiempo promedio de empacado de una unidad de canela molida x 50 g.	20
Tabla 28 Tiempo promedio de empacado de una unidad de Laurel molido x 30 g.	21
Tabla 29 Tiempo promedio de empacado de una unidad de Orégano x 30 g.	21
Tabla 30 Tiempo promedio de empacado de una unidad de Trisabor x 20 g.....	21

Tabla 31 Tiempo promedio de empaçado de una unidad de nuez moscada x 15 g.	22
Tabla 32 Tiempo promedio de empaçado de una unidad de Guasca x 10 g.	22
Tabla 33 Tiempo promedio de empaçado de una unidad de azafrán x 5 g.	22
Tabla 34 Gramajes disponibles de granos, realizados en la empaquetadora PULTAMA.	23
Tabla 35 Tiempo promedio de empaçado de una unidad de Cebada x 500 g.	23
Tabla 36 Tiempo promedio de empaçado de una unidad de Maíz amarillo x 400 g.	24
Tabla 37 Tiempo promedio de empaçado de una unidad de linaza entera x 250 g.	24
Tabla 38 Tiempo de empaçado de empaçado de una unidad de Coco x 200 g....	24
Tabla 39 Tiempo promedio de empaçado de una unidad de Ablandacarnes x 150 g.	25
Tabla 40 Tiempo promedio de empaçado de una unidad de Uvas pasas x 100 g.	25
Tabla 41 Tiempo promedio de empaçado de una unidad de Ablandacarnes x 60 g.	25
Tabla 42 Tiempo promedio de empaçado de una unidad de Comino x 30 g.	26
Tabla 43 Tiempo promedio de una unidad de comino x 20 g.	26
Tabla 44 Tiempo de empaçado de una unidad de Ablandacarnes x 15g.	26
Tabla 45 Tiempo promedio de empaçado de una unidad de nuez moscada x 12 g.	27
Tabla 46 Tiempo promedio de empaçado de una unidad de clavo entero x 11 g.	27
Tabla 47 Tiempo promedio de empaçado de una unidad de pimienta pepa x 10 g.	27
Tabla 48 Tiempo de promedio de empaçado de una unidad de clavo entero x 9 g.	28
Tabla 49 Tiempo promedio de empaçado de una unidad de Clavo entero x 5 g ..	28
Tabla 50 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el primero de Junio del 2017.	29
Tabla 51 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el primero de junio del 2017.	29
Tabla 52 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 2 de junio del 2017.	30
Tabla 53 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 4 de junio del 2017.	30
Tabla 54 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 4 de junio del 2017.	30

Tabla 55 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 5 de junio del 2017.....	31
Tabla 56 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 5 de junio del 2017.....	31
Tabla 57 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 6 de junio del 2017.....	32
Tabla 58 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para 6 de junio del 2017.....	32
Tabla 59 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 7 de junio del 2017.....	32
Tabla 60 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 7 de junio del 2017.....	33
Tabla 61 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para 8 de junio del 2017.	33
Tabla 62 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para 8 de junio del 2017.....	34
Tabla 63 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 9 de junio del 2017.....	34
Tabla 64 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 9 de junio del 2017.....	34
Tabla 65 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 10 de junio del 2017.....	35
Tabla 66 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 10 de junio del 2017.....	35
Tabla 67 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 12 de junio del 2017.....	36
Tabla 68 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 12 de junio del 2017.....	36
Tabla 69 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 13 de junio del 2017.....	36
Tabla 70 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 13 de junio del 2017.....	37
Tabla 71 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 14 de junio del 2017.....	37
Tabla 72 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 14 de junio del 2017.....	38
Tabla 73 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 15 de junio del 2017.....	38

Tabla 74 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 15 de junio del 2017.....	39
Tabla 75 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 16 de junio del 2017.....	39
Tabla 76 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 16 de junio del 2017.....	40
Tabla 77 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 17 de junio del 2017.....	40
Tabla 78 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 17 de junio del 2017.....	40
Tabla 79 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 20 de junio del 2017.....	41
Tabla 80 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 20 de junio del 2017.....	41
Tabla 81 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 21 de junio del 2017.....	42
Tabla 82 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 21 de junio del 2017.....	42
Tabla 83 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 22 de junio del 2017.....	43
Tabla 84 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 22 de junio del 2017.....	43
Tabla 85 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 23 de junio del 2017.....	44
Tabla 86 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 23 de junio del 2017.....	44
Tabla 87 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 24 de junio del 2017.....	45
Tabla 88 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 24 de junio del 2017.....	45
Tabla 89 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 27 de junio del 2017.....	45
Tabla 90 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 27 de junio del 2017.....	46
Tabla 91 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 28 de junio del 2017.....	46
Tabla 92 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 28 de junio del 2017.....	47

Tabla 93 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 29 de junio del 2017.....	48
Tabla 94 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 29 de junio del 2017.....	48
Tabla 95 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 30 de junio del 2017.....	49
Tabla 96 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 30 de junio del 2017.....	49
Tabla 97 Tiempos totales del funcionamiento de cada empaquetadora.....	50
Tabla 98 Tiempos de funcionamiento mensual de los equipos de PROFASOI.....	51
Tabla 99 Consumo estimado mensual del proceso con el sistema neumático previo.	57
Tabla 100 Resultados de la búsqueda con cadena de búsqueda TITLE.	60
Tabla 101 Resultados de la búsqueda con cadena de búsqueda TAK	60
Tabla 102 Resultados de la búsqueda con cadena de búsqueda TITLE.	61
Tabla 103 Resultados de la búsqueda con cadena de búsqueda TAK.	62
Tabla 104 Consolidado de artículos sobre métodos de eficiencia energética en procesos industriales.	63
Tabla 105 Métodos para la eficiencia energética más representativos.	64
Tabla 106 Dimensiones de la tolva dosificadora	67
Tabla 107 Longitud de los tramos de las secciones de la tubería neumática.....	69
Tabla 108 Volumen de cada tramo de la sección 1	72
Tabla 109 Volumen de cada tramo de la sección 2.....	72
Tabla 110 Volumen de cada tramo de la sección 3.....	72
Tabla 111 Volúmenes de los elementos del circuito neumático	73
Tabla 112 Densidades aparentes de sólidos impalpables.....	74
Tabla 113. Modelo de proceso del PROFASOI propuesta de mejoramiento.	91
Tabla 114 Modelo físico del PROFASOI, con mejora propuesta.....	93
Tabla 115 Modelo de control de procedimientos del PROFASOI con la mejora propuesta.....	94

Anexo A

1 Fichas técnicas motores

Con el fin de estimar el consumo energético de cada uno de los equipos del proceso, se llevó a cabo el registro de la información técnica y especificaciones de operación de cada una de los motores asociados a los equipos de la línea de producción, dicha información se extrajo de la placa de identificación de cada motor. De igual manera se definió etiquetas para dichos motores, para correlacionar la nomenclatura de cada máquina eléctrica con su respectivo equipo.

1.1 Equipos de procesamiento

En el área de molinos se encuentran los equipos empleados en el procesamiento de la materia prima utilizada para la elaboración de los productos finales. Las características de los motores que conforman dichos equipos se muestran a continuación:

Tabla 1 Ficha técnica motor molino de martillos.

MOTOR 1 (MT1)		
UNIDAD	Producto: impalpables	
	Pulverizado	
DATOS DE LA PLACA DE IDENTIFICACIÓN	Factor de potencia (FP): 0.83	Fases: 3
	Voltaje: 220 V	RPM: 1750
	Corriente: 34 A	Potencia nominal: 8.95 kW
¿REMANUFACTURADO?	No	Número de veces: 0 Fecha: -----
TRANSMISIÓN	Caja:	Banda: Si

Fuente: propia, marzo del 2017

Tabla 2 Ficha técnica motor mezclador Ribbon Blender 1.

MOTOR 2 (MT2)		
UNIDAD	Producto: impalpables	
	Homogeneización	
DATOS DE LA PLACA DE IDENTIFICACIÓN	Factor de potencia (FP): 0.81	Fases: 3
	Voltaje: 220 V	RPM: 1700
	Corriente: 5.9 A	Potencia nominal: 0.97 kW
¿REMANUFACTURADO?	No	Número de veces: 0 Fecha: -----
TRANSMISIÓN	Caja: Si 29:1	Banda:

Fuente: propia, marzo del 2017.

Tabla 3 Ficha técnica motor mezclador Molino de discos.

MOTOR 3 (MT3)		
UNIDAD	Producto: impalpables	
	Molienda	
DATOS DE LA PLACA DE IDENTIFICACIÓN	Factor de potencia (FP): 0.8	Fases: 3
	Voltaje: 220 V	RPM: 1800
	Corriente: 50 A	Potencia nominal: 13.4 kW
¿REMANUFACTURADO?	No	Número de veces: 0 Fecha: -----
TRANSMISIÓN	Caja:	Banda: Si

Fuente: propia, marzo del 2017.

Tabla 4 Ficha técnica motor mezclador Ribbon Blender 2.

MOTOR 4 (MT4)		
UNIDAD	Producto: impalpables	
	Mezcla	
DATOS DE LA PLACA DE IDENTIFICACIÓN	Factor de potencia (FP): 0.83	Fases: 3
	Voltaje: 220 V	RPM: 1710
	Corriente: 11 A	Potencia nominal: 2.68 kW
¿REMANUFACTURADO?	No	Número de veces: 0 Fecha: -----
TRANSMISIÓN	Caja: Si 29:1	Banda:

Fuente: propia, marzo del 2017.

1.2 Equipos para empaclado

Por otra parte para estimar la cantidad de energía disipada en los equipos del área de empaclado, se llevó a cabo un estudio de campo, en el cual se captó y registró los datos técnicos de los distintos motores que conforman las empaquetadoras del proceso. A continuación se muestra la información de cada empaquetadora:

1.2.1 Empaquetadora LAP

Esta máquina funciona de manera automática, ya que utiliza para su funcionamiento un controlador lógico programable y múltiples variadores de velocidad, lo que permite la previa configuración del equipo y la operación autónoma de la misma. Las características de los motores que permiten el funcionamiento de dicha máquina se muestran a continuación:

Tabla 5 Ficha técnica motor principal empaquetadora LAP.

MOTOR 5 (MT5)		
UNIDAD	Producto: impalpables	
	Empacado	
DATOS DE LA PLACA DE IDENTIFICACIÓN	Factor de potencia (FP): 0.76	Fases: 3
	Voltaje: 220 V	RPM: 1385
	Corriente: 6.7 A	Potencia nominal: 1.8 kW
¿REMANUFACTURADO?	No	Número de veces: 0 Fecha: -----
TRANSMISIÓN	Caja: Si 5:1	Banda:

Fuente: propia, marzo del 2017.

Tabla 6 Ficha técnica motor de arrastre empaquetadora LAP.

MOTOR 6 (MT6)		
UNIDAD	Producto: impalpables	
	Empacado	
DATOS DE LA PLACA DE IDENTIFICACIÓN	Factor de potencia (FP): 0.75	Fases: 3
	Voltaje: 220 V	RPM: 1680
	Corriente: 2.1 A	Potencia nominal: 0.74 kW
¿REMANUFACTURADO?	No	Número de veces: 0 Fecha: -----
TRANSMISIÓN	Caja: Si	Banda:

Fuente: propia, marzo del 2017.

Tabla 7 Ficha técnica motor de dosificación empaquetadora de sólidos impalpables.

MOTOR 7 (MT7)		
UNIDAD	Producto: impalpables	
	Empacado	
DATOS DE LA PLACA DE IDENTIFICACIÓN	Factor de potencia (FP): 0.75	Fases: 3
	Voltaje: 220 V	RPM: 1385
	Corriente: 3.9 A	Potencia nominal: 1.8 kW
¿REMANUFACTURADO?	No	Número de veces: 0 Fecha: -----
TRANSMISIÓN	Caja: Si	Banda:

Fuente: propia, marzo del 2017.

Tabla 8 Ficha técnica motor agitador empaquetadora de sólidos impalpables.

MOTOR 8 (MT8)		
UNIDAD	Producto: impalpables	
	Empacado	
DATOS DE LA PLACA DE IDENTIFICACIÓN	Factor de potencia (FP): 0.75	Fases: 3
	Voltaje: 220 V	RPM: 1680
	Corriente: 2.1 A	Potencia nominal: 0.74 kW
¿REMANUFACTURADO?	No	Número de veces: 0 Fecha: -----
TRANSMISIÓN	Caja: Si	Banda:

Fuente: propia, marzo del 2017.

Tabla 9 Ficha técnica motor de la banda transportadora de la empaquetadora de sólidos impalpables.

MOTOR 9 (MT9)		
UNIDAD	Producto: impalpables y granos	
	Empacado	
DATOS DE LA PLACA DE IDENTIFICACIÓN	Factor de potencia (FP): 0.67	Fases: 3
	Voltaje: 220 V	RPM: 1100
	Corriente: 2.2 A	Potencia nominal: 0.37 kW
¿REMANUFACTURADO?	No	Número de veces: 0 Fecha: -----
TRANSMISIÓN	Caja: Si	Banda:

Fuente: propia, marzo del 2017.

Tabla 10 Ficha técnica motor de compresor para etiquetado.

MOTOR 10 (MT10)		
UNIDAD	Producto: impalpables y granos	
	Empacado	
DATOS DE LA PLACA DE IDENTIFICACIÓN	Factor de potencia (FP): 0.78	Fases: 3
	Voltaje: 220 V	RPM: 1740
	Corriente: 14.2 A	Potencia nominal: 3.73 kW
¿REMANUFACTURADO?	No	Número de veces: 0 Fecha: -----
TRANSMISIÓN	Caja:	Banda: Si

Fuente: propia, marzo del 2017.

1.2.2 Empaquetadora Pultama:

En esta empaquetadora los productos que no requieren procesamiento se denominan granos y son llevados directamente desde el área de materias primas hasta la empaquetadora automática. Dicha maquina usa un controlador lógico programable y variadores de velocidad, permitiendo la operación autónoma de la misma.

Tabla 11 Ficha técnica motor principal empaquetadora de granos.

MOTOR 11 (MT11)		
UNIDAD	Producto: granos	
	Empacado	
DATOS DE LA PLACA DE IDENTIFICACIÓN	Factor de potencia (FP): 0.74	Fases: 3
	Voltaje: 220 V	RPM: 1380
	Corriente: 3.8 A	Potencia nominal: 0.75 kW
¿REMANUFACTURADO?	No | Número de veces: 0	Fecha: -----
TRANSMISIÓN	Caja: Si 6:1	Banda:

Fuente: propia, marzo del 2017.

Tabla 12 Ficha técnica motor de arrastre empaquetadora de granos.

MOTOR 12 (MT12)		
UNIDAD	Producto: granos	
	Empacado	
DATOS DE LA PLACA DE IDENTIFICACIÓN	Factor de potencia (FP): 0.75	Fases: 3
	Voltaje: 220 V	RPM: 1385
	Corriente: 6.7 A	Potencia nominal: 1.5 kW
¿REMANUFACTURADO?	No | Número de veces: 0	Fecha: -----
TRANSMISIÓN	Caja: Si	Banda:

Fuente: propia, marzo del 2017.

Tabla 13 Ficha técnica motor de dosificación empaquetadora de granos.

MOTOR 13 (MT13)		
UNIDAD	Producto: granos	
	Empacado	
DATOS DE LA PLACA DE IDENTIFICACIÓN	Factor de potencia (FP): 0.74	Fases: 3
	Voltaje: 220 V	RPM: 1380
	Corriente: 3.75 A	Potencia nominal: 0.75 kW
¿REMANUFACTURADO?	No | Número de veces: 0	Fecha: -----
TRANSMISIÓN	Caja: Si	Banda:

Fuente: propia, marzo del 2017.

Tabla 14 Ficha técnica motor banda transportadora.

MOTOR 14 (MT14)		
UNIDAD	Producto: impalpables y granos	
	Empacado	
DATOS DE LA PLACA DE IDENTIFICACIÓN	Factor de potencia (FP): 0.67	Fases: 3
	Voltaje: 220 V	RPM: 1100
	Corriente: 2.2 A	Potencia nominal: 0.37 kW
¿REMANUFACTURADO?	No	Número de veces: 0 Fecha: -----
TRANSMISIÓN	Caja: Si	Banda:

Fuente: propia, marzo del 2017.

1.2.3 Sistema neumático previo

Tabla 15 Ficha técnica motor del compresor de tornillo.

MOTOR 15 (MT15)		
UNIDAD	Producto: impalpables y granos	
	Transporte	
DATOS DE LA PLACA DE IDENTIFICACIÓN	Factor de potencia (FP): 0.81	Fases: 3
	Voltaje: 220 V	RPM: 1774
	Corriente: 80 A	Potencia nominal: 2,371 kW
¿REMANUFACTURADO?	No	Número de veces: 0 Fecha: -----
TRANSMISIÓN	Caja: Si	Banda:

Fuente: propia, marzo del 2017.

A partir de la información previamente registrada, se logra estimar el consumo energético de cada equipo del proceso, posteriormente se cuantifican los porcentajes asociados a dichos consumos, con respecto a la cantidad total de energía utilizada en el área productiva de la organización.

Anexo B

2 Relación entre los modelos ISA-S88.01 para PROFASOI

El modelo de control procedimiento, el modelo físico y el modelo de proceso, propuestos en la norma ISA-S88.01, presentan una relación en la cual las tareas emitidas en el modelo de control procedimental se ejecutan sobre los equipos detallados en el modelo físico, proporcionando las funciones de proceso que conforman el tercer modelo [1].

Se observa que los modelos anteriormente mencionados, los cuales se desarrollan en las secciones 1.4.1, 1.4.2 y 1.4.3 de la monografía presentan 4 colores, verde, verde claro, gris y gris claro para caracterizar cada nivel, con el fin de mantener una jerarquía y relacionar los 3 modelos (ver Tabla 16).

Tabla 16 Convenciones para relacionar los niveles de los modelos ISA-S88.01.

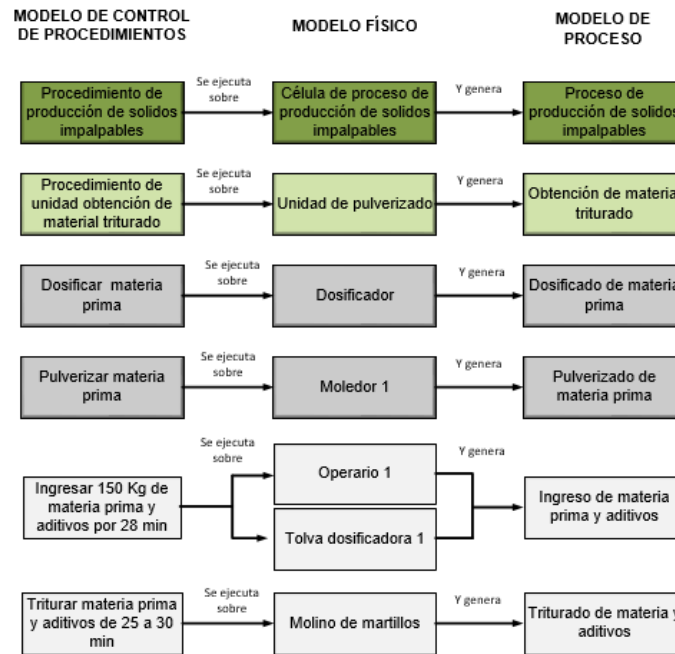
Modelo de control de procedimientos	Modelo físico	Modelo de proceso	Color
Procedimiento	Célula de proceso	Proceso	Verde oscuro
Procedimiento de unidad	Unidad	Etapa de proceso	Verde claro
Operación	Módulo de equipo	Operación de proceso	Gris
Fase	Módulo de control	Acción de proceso	Gris claro

Fuente: propia, febrero del 2017.

A continuación, se muestra la relación entre los modelos ISA-S88.01 del PROFASOI para la etapa de obtención de material triturado (ver Figura 1), para la etapa de homogeneización de material triturado (ver Figura 2), así mismo se presenta la relación de modelos para la etapa de obtención de polvo (ver Figura 3), de manera seguida se plantea la relación de estos modelos para la etapa de ventilado de polvo (ver Figura 4) y finalmente establece dicha relación para la etapa de empacado de polvo (ver Figura 5).

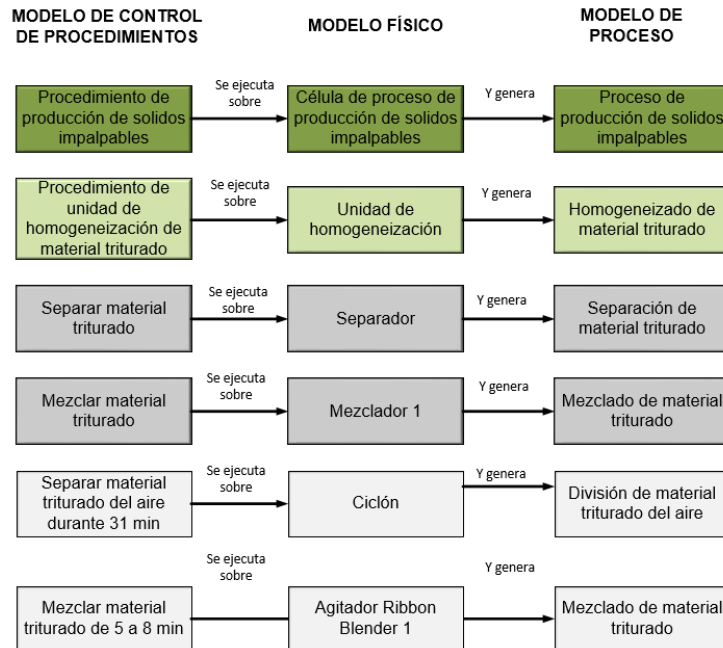
A continuación se realiza un ejemplo de la relación de la etapa de obtención de materia prima, iniciando con la operación “dosificar materia prima” que se ejecuta sobre el módulo de control “dosificador”, dando como resultado la operación de proceso “dosificado de materia prima”. Por otro lado la fase “ingresar materia prima y aditivos” se realiza con el módulo de control “tolva dosificadora 1” realizado por el “operario 1”, ocasionando la acción de proceso “ingreso de materia prima y aditivos”. Esta relación es la misma para las otras 4 etapas del PROFASOI.

Figura 1 Relación entre modelos entre los tres modelos ISA S88.01 para la etapa de obtención de material triturado.



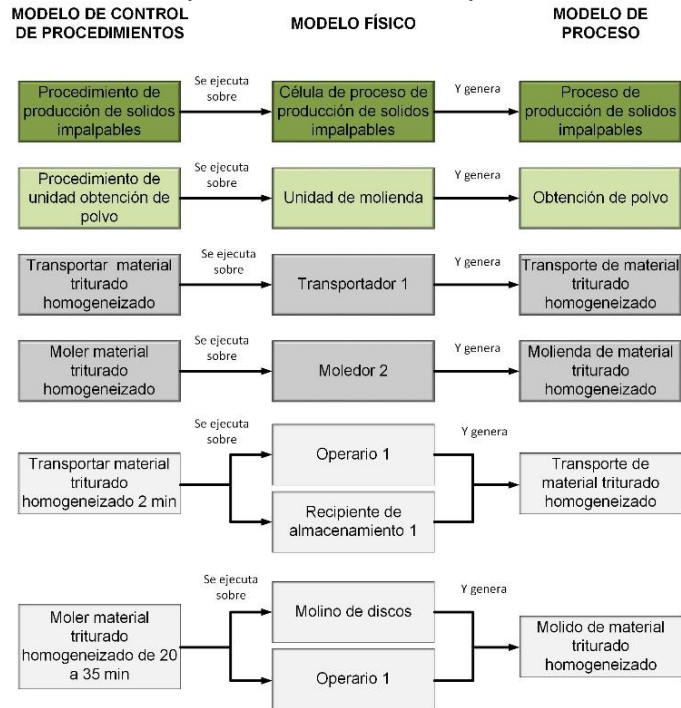
Fuente: propia, febrero del 2017.

Figura 2 Relación entre modelos entre los tres modelos ISA S88.01 para la etapa de homogeneización de material triturado.



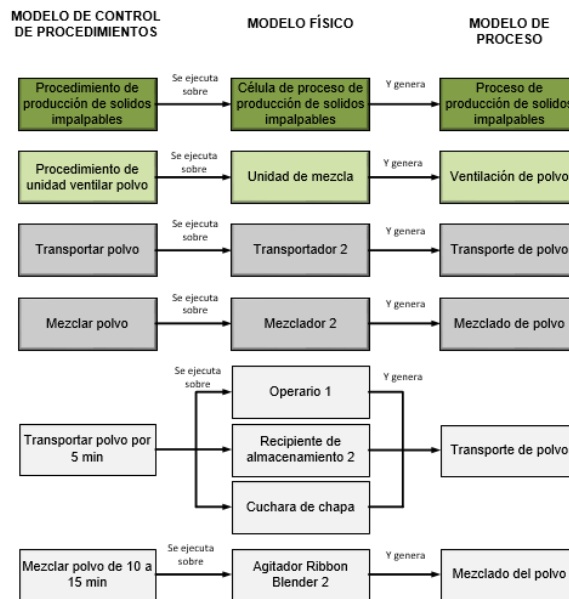
Fuente: propia, febrero del 2017.

Figura 3 Relación entre modelos entre los tres modelos ISA S88.01 para la etapa de obtención de polvo.



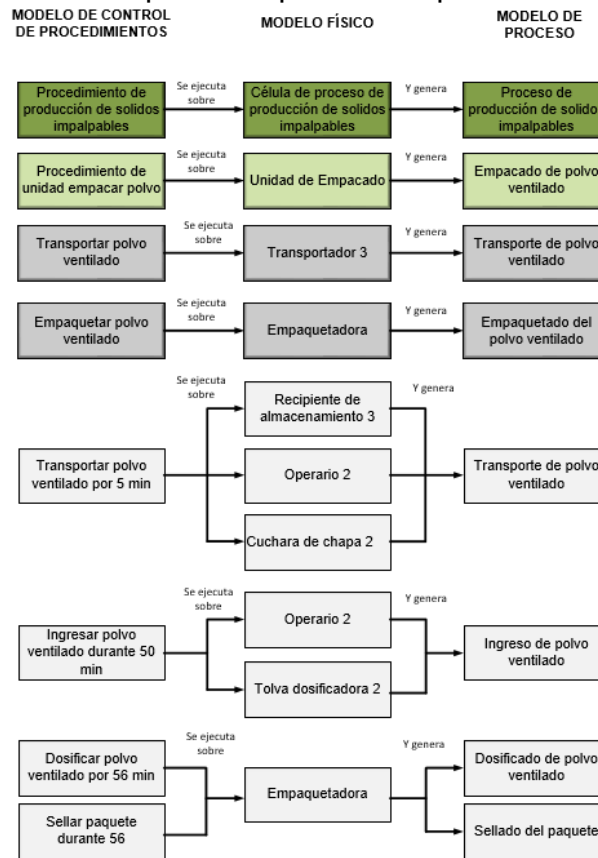
Fuente: propia, febrero del 2017.

Figura 4 Relación entre modelos entre los tres modelos ISA S88.01 para la etapa de ventilado de polvo.



Fuente: Propia, febrero del 2017.

Figura 5 Relación entre modelos entre los tres modelos ISA S88.01 para la etapa de empaqueo de polvo.



Fuente: Propia, febrero del 2017.

Anexo C

3 Diagnóstico del PROFASOI

En el presente anexo se desarrollan los pasos que componen el diagnóstico de PROFASOI. Dichos pasos son: determinar el nivel de dificultad de cada fase del proceso, caracterizar el nivel de automatización de cada una de las fases y finalmente especificar las necesidades de automatización [2] [3].

3.1 Nivel de dificultad en la realización del PROFASOI

El grado de dificultad del proceso de fabricación de sólidos impalpables, se determinó a partir de la extracción de información asociada a la ejecución de las fases del proceso por parte de los encargados del mismo. Para definir la dificultad del proceso se entrevistó al molinero quien ejecuta las fases asociadas al procesamiento; al operario encargado de la actividad de empaclado y por último al jefe de planta el cual supervisa la ejecución de todo el proceso, posteriormente se organizan sus respuestas en tres categorías.

Para la extracción de información se formuló la pregunta “¿Qué tan difícil es la realización de las siguientes fases?”, para 12 fases que componen el proceso. Las respuestas obtenidas se clasificaron en 3 categorías: “bajo”, “medio”, “alto”, al igual que una sección de anotaciones, para ampliar las respuestas de los encuestados (ver Tabla 17).

Tabla 17 Respuestas de dificultad en realización de las fases de PROFASOI.

PROCEDIMIENTO DE UNIDAD	FASE	NIVEL DE DIFICULTAD			Anotación
		BAJO	MEDIO	ALTO	
Obtención de material triturado	Ingresar materia prima y aditivos		2		Requiere estar pendiente de la dosificación de la materia prima dependiendo del producto a elaborar.
	Triturar materia prima y aditivos	2			
Homogeneización material triturado	Separar material triturado	2			
	Mezclar material triturado	2			
Obtención de polvo	Transportar material triturado homogeneizado	1	1		Esfuerzo físico por parte del molinero.

	Moler material triturado homogeneizado			2	A ajustar los discos de la mejor manera para dar el correcto brillo al producto y estar pendiente de que no se peguen.
Ventilar polvo	Transportar polvo	1	1		Aumento de tiempo.
	Mezclar polvo	2			
Empacar polvo	Transportar polvo ventilado		1	1	Esfuerzo físico por parte del operario y aumento de tiempo.
	Ingresar polvo ventilado		1	1	Esfuerzo físico por parte del operario y aumento de tiempo.
	Dosificar el polvo ventilado	2			
	Sellar paquete	2			

Fuente: propia, febrero del 2017.

A partir, de la información extraída respecto a la ejecución del proceso, a través de la entrevista realizada a los encargados del mismo, se llevó a cabo la asignación del nivel de dificultad en la realización de cada una de las fases que conforman PROFASOI, mediante la ponderación de las respuestas dadas (ver *Tabla 18*). Es decir, se infirió el nivel de dificultad en la realización de cada fase del proceso al promediar los pesos asignados a cada categoría definida: 1 para “bajo”, 3 para “medio” y 5 para “alto”, razonando lógicamente el valor promedio para designar la dificultad de manera cualitativa.

Tabla 18 Nivel de dificultad en la realización de las fases del PROFASOI.

PROCEDIMIENTO DE UNIDAD	FASE	NIVEL DE DIFICULTAD
Obtención de material triturado	Ingresar materia prima y aditivos	Medio
	Triturar materia prima y aditivos	Bajo
Homogeneizar material triturado	Separar material triturado	Bajo
	Mezclar material triturado	Bajo
Obtención de polvo	Transportar material triturado homogeneizado	Medio
	Moler material triturado homogeneizado	Alto
Ventilar polvo	Transportar polvo	Medio

	Mezclar polvo	Bajo
Empacar polvo	Transportar polvo ventilado	Alto
	Ingresar polvo ventilado	Alto
	Dosificar el polvo	Bajo
	Sellar paquete	Bajo

Fuente: Propia, febrero del 2017.

En la fase “ingresar materia prima y aditivos”, la cual se le asignó una dificultad media a partir de la información captada del proceso, tiene asociada una anotación que especifica que en su desarrollo es necesario la constante observación e intervención del operario, para dosificar correctamente el material requerido en la elaboración de los diferentes tipos de producto.

Por otra parte, la fase “Transportar material triturado”, presenta un nivel de dificultad medio, ya que requiere un esfuerzo físico por parte del molinero al levantar un recipiente y colocar su contenido en el molino de discos, respecto a la fase “Moler material triturado”, la cual posee un nivel de dificultad alta, requiere un ajuste riguroso de la posición de los discos del molino que permiten la molienda fina del material triturado para la obtención de polvo, porque dependiendo de dicha posición se obtienen un material con propiedades organolépticas específicas, las cuales son relevantes en el la obtención del producto final.

Respecto a la fase “Transportar polvo”, se le asigna un nivel de dificultad medio, la cual tiene una anotación donde el molinero especifica que hay un aumento de tiempo en el procesamiento, debido a que tiene que dosificar el material molido en un recipiente con una cuchara de chapa, para posteriormente cargarlo e introducir el material en el mezclador 2.

Respecto a la fase “Transportar polvo ventilado” de dificultad alta, una vez finalizado el procesamiento del material, este es introducido en un recipiente de almacenamiento, posteriormente el operario de manera manual transporta el recipiente, rodándolo hasta llegar a la empaquetadora, por lo anterior la ejecución de esta fase demanda un esfuerzo físico considerable, al igual que un aumento en los tiempos del proceso.

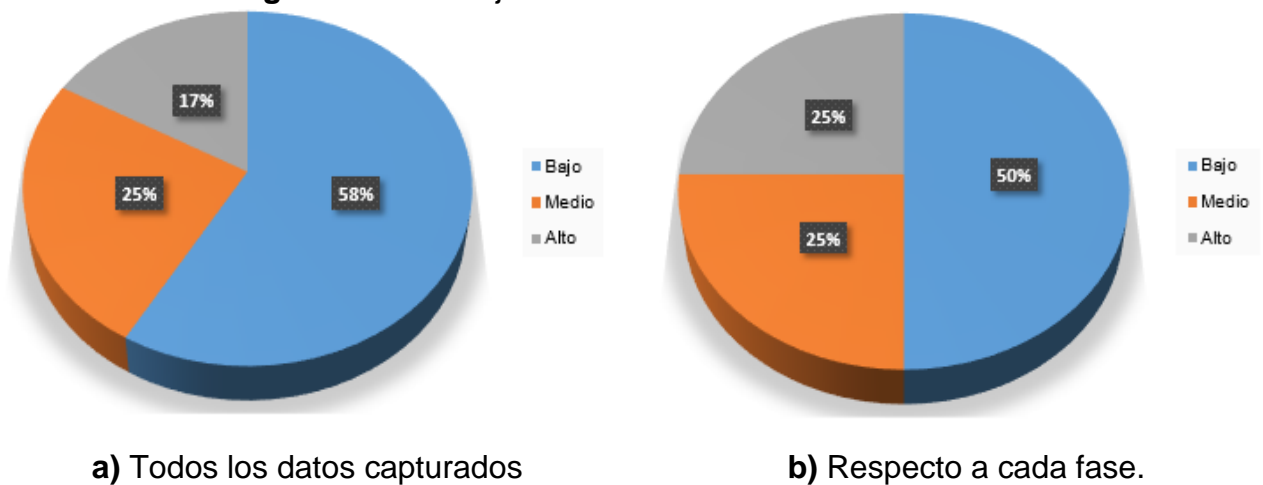
Finalmente, la fase “Ingresar polvo ventilado” presenta una dificultad alta, porque el operario que transporta el material hasta la empaquetadora es el mismo que la dosifica, haciendo uso de una cuchara de chapa, aumentando el tiempo de empaclado del producto.

De manera general, resultaron 6 fases en nivel bajo, 3 en nivel medio y 3 en nivel alto.

Desarrollo estadístico del nivel de dificultad

El nivel dificultad general de PROFASOI en términos estadísticos, se planteó a partir de la comparación entre datos porcentuales de 24 respuestas obtenidas de las 3 personas encuestadas y de la dificultad obtenida de las 12 fases. Es decir que se calculó el porcentaje de 14 respuestas de dificultad bajo, 6 medio y 4 alto (ver Figura 6.a), por medio de esto se definió el porcentaje de 6 fases con nivel de dificultad bajo, 3 de medio y 3 de alto (ver Figura 6.b).

Figura 6 Porcentaje del nivel de dificultad de PROFASOI.



Fuente: propia, febrero del 2017.

Respecto a todos los datos capturados, el 58%, el 25% y el 17% de las respuestas obtenidas de los 3 encargados del PROFASOI, lo calificaron como bajo, medio y alto respectivamente. Considerando las fases se aprecia que el 50% posee un nivel de dificultad bajo en su realización, el 25% un nivel de dificultad medio y finalmente el otro 25% un nivel alto.

3.2 Nivel de automatización del PROFASOI

Para definir el nivel de automatización del proceso, se entrevistó al molinero quien ejecuta las fases asociadas al procesamiento; al operario encargado de la actividad de empacado y por último al jefe de planta el cual supervisa la ejecución de todo el proceso, posteriormente se organizan sus respuestas en tres categorías.

Con el fin de llevar a cabo una caracterización adecuada de PROFASOI, se define el nivel de automatización de cada una de las fases del proceso en mención. Permitiendo de esta manera comprender la interacción hombre-máquina de este proceso, a partir de la asignación de los 3 niveles de automatización: manual, semi-automático y automático en la secuencia del proceso. Teniendo en cuenta, la consideración anterior se evaluaron 12 fases del PROFASOI y se preguntó a los encargados del proceso como eran estas fases, resultando 5 fases manuales, 2 semi-automáticas y 5 automáticas (ver *Tabla 19*).

Tabla 19 Nivel de automanitación de las fases de PROFASOI.

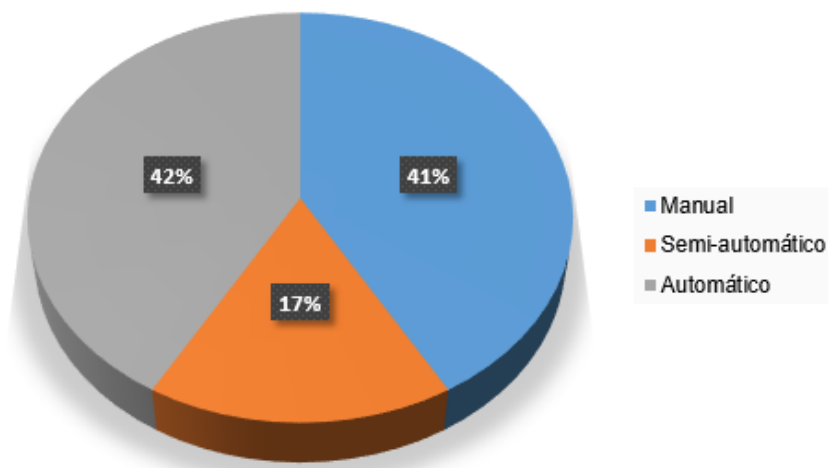
PROCEDIMIENTO DE UNIDAD	FASE	NIVEL DE AUTOMATIZACIÓN
Obtención de material triturado	Ingresar materia prima y aditivos	Manual
	Triturar la materia prima y los aditivos	Automático
Homogeneizar material triturado	Separar material triturado	Automático
	Mezclar material triturado	Automático
Obtención de polvo	Transportar material triturado homogeneizado	Manual
	Moler material triturado homogeneizado	Semiautomático
Ventilar polvo	Transportar polvo	Manual
	Mezclar polvo	Automático
Empacar polvo	Transportar polvo ventilado	Manual
	Ingresar polvo ventilado	Manual
	Dosificar el polvo	Semiautomático
	Sellar paquete	Automático

Fuente: propia, febrero del 2017.

Desarrollo estadístico del nivel de automatización

El nivel de automatización de PROFASOI en términos estadísticos, muestra que el 42% de las fases son manuales; el 17% son semi-automáticas y el 41% automáticas (ver *Figura 7*).

Figura 7 Porcentaje del nivel de automatización de PROFASOI respecto a sus fases.



Fuente: propia, febrero del 2017.

3.3 Necesidad de automatización del PROFASOI

A pesar que PROFASOI, cuenta con equipos adecuados para la ejecución de sus fases, el 41% del proceso es manual. Por tal razón, surge la necesidad manifestada por el cliente de automatizar algunas fases, reflejada en una encuesta, en la que se preguntó: ¿De las siguientes fases cuáles considera que deberían ser automáticas?, realizada al molinero encargado de las fases asociadas al procesamiento, al operario encargado de las tareas relacionadas al empaclado y al jefe de planta quien supervisa la ejecución de todo el proceso, obteniéndose 8 respuestas afirmativas y 16 negativas (ver *Tabla 20*).

Tabla 20 Respuestas sobre necesidad de automatizar algunas fases de PROFASOI.

PROCEDIMIENTO DE UNIDAD	FASE	RESPUESTA		JUSTIFICACIÓN
		SI	NO	
Obtención de material triturado	Ingresar materia prima y aditivos		2	
	Triturar la materia prima y los aditivos		2	
Homogeneizar material triturado	Separar material triturado		2	
	Mezclar material triturado		2	
Obtención de polvo	Transportar material triturado homogeneizado	2		Evitar el contacto con el material
	Moler material triturado homogeneizado		2	Es una fase crítica y de mayor atención por el operario

Ventilar polvo	Transportar polvo	2		Ahorrar tiempo y evitar contacto con el material
	Mezclar polvo		2	
Empacar polvo	Transportar polvo ventilado	2		Reducir tiempo, aliviar carga al operario y mejorar condiciones del producto
	Ingresar polvo ventilado	2		Reducir tiempo, aliviar carga al operario y mejorar condiciones del producto
	Dosificar el polvo ventilado		2	
	Sellar paquete		2	

Fuente: propia, febrero del 2017.

Del analisis de los resultados en la encuesta, se calcula que alrededor del 67% del proceso no necesita ser automatizado, mientras que el 33% restante si lo necesita. Ademas se obtvieron algunas observaciones importantes de lo que se lograria con la automatizacion de las fases del proceso, por ejemplo: Mejorar el transporte entre unidades, aliviar la carga de los operarios, reducir tiempos de procesamiento y mejorar las condiciones del producto.

Anexo D

4 Cálculos consumo energético PROFASOI

Para llevar a cabo la estimación del consumo de energía de PROFASOI, se realizó el cálculo de la potencia consumida de cada uno de los equipos del proceso, a partir del tiempo de funcionamiento de los motores pertenecientes a dichos equipos [4] [5], los cuales se obtuvieron del levantamiento de información realizada en campo.

4.1 Cálculo de los tiempos de funcionamiento de las empaquetadoras

Para la estimación del consumo energético de las empaquetadoras, se calculó el tiempo de empaqueo por unidad de los productos elaborados en el mes de junio. A partir de la medición de 10 muestras de tiempo tomadas en campo del empaqueo de producto. De esta manera se infirió el tiempo promedio que le toma a cada máquina empaquetar un producto determinado de un gramaje específico.

El registro de los datos de tiempo se realizó para la empaquetadora LAP y para la empaquetadora PULTAMA, dicha medición de tiempo se llevó a cabo para todos los gramajes de los distintos productos empaquetados en cada máquina.

4.1.1 Tiempos medidos para empaquetadora LAP

Se maneja varios tipos de productos en diferentes referencias, denominados sólidos impalpables. Las cantidades asociadas a dichos productos se presentan a continuación (*ver Tabla 21*):

Tabla 21 Gramajes disponibles de sólidos impalpables, realizados en la empaquetadora LAP.

CANTIDAD EMPACADA DE SÓLIDOS IMPALPABLES	
GRAMOS (g)	
5	50
10	60
15	100
20	500
25	600
30	700

Fuente: propia, julio del 2017.

Para calcular el tiempo promedio se realiza el registro de 10 muestras de tiempo de empaqueo para múltiples productos en sus distintas presentaciones, respecto a los gramajes previamente especificados:

Tabla 22 Tiempo promedio de empacado de una unidad de Pollo crispi x 700 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Pollo crispi x 700 g	1.75
	1.75
	1.86
	1.90
	1.83
	2
	1.73
	1.80
	2
	1.85
Promedio (segundo)	1.84
Promedio (minuto)	0.03

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 23 Tiempo promedio de empacado de una unidad Pollo crispi x 600 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Pollo crispi x 600 g	1.77
	1.76
	1.86
	1.95
	1.8
	2
	1.73
	1.80
	2
	1.85
Promedio (segundo)	1.85
Promedio (minuto)	0.03

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 24 Tiempo promedio de empacado de una unidad de Color x 500 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Color x 500 g	1.85
	1.86
	1.73
	2
	1.8
	1.82
	1.75
	1.9
	1.91
	1.8
Promedio (segundo)	1.84
Promedio (minuto)	0.03

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 25 Tiempo promedio de empackado de una unidad de color x 100 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Color x 100 g	1.44
	1.67
	1.51
	1.48
	1.52
	1.45
	1.52
	1.58
	1.59
	1.34
Promedio (segundo)	1.51
Promedio (minuto)	0.025

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 26 Tiempo promedio de empackado de una unidad de aliño 7 hiervas x 60 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
7 hiervas x 60 g	1.33
	1.36
	1.38
	1.62
	1.38
	1.36
	1.32
	1.38
	1.35
	1.33
Promedio (segundo)	1.38
Promedio (minuto)	0.023

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 27 Tiempo promedio de empackado de una unidad de canela molida x 50 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Canela molida x 50 g	1.37
	1.32
	1.60
	1.39
	1.30
	1.39
	1.4
	1.36
	1.5
	1.45
Promedio (segundo)	1.38
Promedio (minuto)	0.023s

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 28 Tiempo promedio de empaqueo de una unidad de Laurel molido x 30 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Laurel molido x 30 g	1.36
	1.37
	1.37
	1.39
	1.36
	1.39
	1.35
	1.36
	1.42
	1.43
Promedio (segundo)	1.38
Promedio (minuto)	0.023

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 29 Tiempo promedio de empaqueo de una unidad de Orégano x 30 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Orégano molido x 25 g	1.53
	1.50
	1.50
	1.39
	1.50
	1.39
	1.60
	1.36
	1.56
	1.55
Promedio (segundo)	1.48
Promedio (minuto)	0.024

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 30 Tiempo promedio de empaqueo de una unidad de Trisabor x 20 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Trisabor x 20 g	1.4
	1.45
	1.46
	1.45
	1.45
	1.46
	1.46
	1.46
	1.43
	1.41
1.4	
Promedio (segundo)	1.43
Promedio (minuto)	0.023

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 31 Tiempo promedio de empackado de una unidad de nuez moscada x 15 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Nuez moscada molida x 15 g	1.43
	1.46
	1.45
	1.46
	1.4
	1.4
	1.39
	1.47
	1.46
	1.45
Promedio (segundo)	1.43
Promedio (minuto)	0.023

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 32 Tiempo promedio de empackado de una unidad de Guasca x 10 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Guasca x 10 g	1.40
	1.46
	1.47
	1.46
	1.39
	1.47
	1.49
	1.45
	1.43
	1.39
Promedio (segundo)	1.44
Promedio (minuto)	0.024

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 33 Tiempo promedio de empackado de una unidad de azafrán x 5 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Pistilos de azafrán x 5 g	1.39
	1.35
	1.33
	1.37
	1.31
	1.34
	1.35
	1.37
	1.38
	1.32
Promedio (segundo)	1.35
Promedio (minuto)	0.022

Fuente: propia, julio del 2017.

4.1.2 Tiempos medidos para empaquetadora PULTAMA

Se maneja varios tipos de productos en diferentes referencias, denominados granos. Las cantidades asociadas a dichos productos se presentan a continuación (ver Tabla 34):

Tabla 34 Gramajes disponibles de granos, realizados en la empaquetadora PULTAMA.

CANTIDAD EMPACADA DE GRANOS	
GRAMOS (G)	
5	60
9	100
10	150
11	200
12	250
15	400
20	500
30	

Fuente: propia, julio del 2017.

De igual forma, se realiza el registro de 10 muestras de tiempo de empaquetado para múltiples productos en sus distintas presentaciones, respecto a los gramajes previamente especificados:

Tabla 35 Tiempo promedio de empaqueo de una unidad de Cebada x 500 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Cebada x 500 g	2.01
	2.06
	1.98
	2
	2.05
	2
	2.1
	2.14
	1.99
	2.03
Promedio (segundo)	2.036
Promedio (minuto)	0.033

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 36 Tiempo promedio de empacado de una unidad de Maíz amarillo x 400 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Maíz amarillo x 400 g	1.77
	1.76
	1.86
	1.98
	1.84
	2
	1.73
	1.80
	2.2
	1.85
Promedio (segundo)	1.87
Prmedio (minuto)	0.031

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 37 Tiempo promedio de empacado de una unidad de linaza entera x 250 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Linaza entera x 250 g	1.66
	1.69
	1.69
	1.61
	1.69
	1.72
	1.68
	1.66
	1.7
	1.6
Promedio (segundo)	1.67
Promedio (minuto)	0.027

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 38 Tiempo de empacado de empacado de una unidad de Coco x 200 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Coco x 200 g	1.67
	1.70
	1.70
	1.60
	1.70
	1.72
	1.67
	1.65
	1.73
	1.54
Promedio (segundo)	1.67
Promedio (minuto)	0.027

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 39 Tiempo promedio de empacado de una unidad de Ablandacarnes x 150 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Ablanda carnes x 150 g	1.67
	1.70
	1.70
	1.60
	1.72
	1.72
	1.66
	1.67
	1.7
	1.57
Promedio (segundo)	1.67
Promedio (minuto)	0.027

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 40 Tiempo promedio de empacado de una unidad de Uvas pasas x 100 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Uvas pasas x 100 g	1.68
	1.71
	1.71
	1.58
	1.72
	1.72
	1.67
	1.65
	1.73
	1.54
Promedio (segundo)	1.67
Promedio (minuto)	0.027

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 41 Tiempo promedio de empacado de una unidad de Ablandacarnes x 60 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Ablanda carnes x 60 g	1.58
	1.49
	1.60
	1.40
	1.65
	1.39
	1.47
	1.59
	1.51
	1.48
Promedio (segundo)	1.51
Promedio (minuto)	0.025

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 42 Tiempo promedio de empacado de una unidad de Comino x 30 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Comino grano x 30 g	1.57
	1.48
	1.60
	1.38
	1.65
	1.39
	1.47
	1.59
	1.51
	1.48
Promedio (segundo)	1.51
Promedio (minuto)	0.025

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 43 Tiempo promedio de una unidad de comino x 20 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Comino grano x 20 g	1.57
	1.48
	1.60
	1.38
	1.65
	1.39
	1.48
	1.55
	1.50
	1.50
Promedio (segundo)	1.51
Promedio (minuto)	0.025

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 44 Tiempo de empacado de una unidad de Ablandacarnes x 15g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Ablanda carnes x 15	1.51
	1.54
	1.32
	1.58
	1.65
	1.46
	1.62
	1.39
	1.53
	1.47
Promedio (segundo)	1.51
Promedio (minuto)	0.025

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 45 Tiempo promedio de empackado de una unidad de nuez moscada x 12 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Nuez moscada pepa x 12 g	1.44
	1.54
	1.45
	1.47
	1.60
	1.47
	1.47
	1.69
	1.48
	1.51
Promedio (segundo)	1.51=0.025
Promedio (minuto)	7.5 minutos

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 46 Tiempo promedio de empackado de una unidad de clavo entero x 11 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Clavo entero x 11 g	1.43
	1.55
	1.46
	1.46
	1.61
	1.47
	1.47
	1.70
	1.46
	1.51
Promedio (segundo)	1.51=
Promedio (minuto)	0.025

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 47 Tiempo promedio de empackado de una unidad de pimienta pepa x 10 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Pimienta pepa x 10 g	1.44
	1.56
	1.47
	1.46
	1.62
	1.46
	1.47
	1.71
	1.46
	1.51
Promedio (segundo)	1.51=0.025
Promedio (minuto)	37.5 minutos

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 48 Tiempo de promedio de empackado de una unidad de clavo entero x 9 g.

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Clavo entero x 9 g	1.45
	1.50
	1.50
	1.46
	1.50
	1.46
	1.47
	1.55
	1.46
	1.47
Promedio (segundo)	1.48
Promedio (minuto)	0.024

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 49 Tiempo promedio de empackado de una unidad de Clavo entero x 5 g

PRODUCTO	TIEMPO (SEGUNDO)
Clavo entero x 5 g	1.44
	1.55
	1.47
	1.46
	1.58
	1.46
	1.48
	1.70
	1.46
	1.52
Promedio (segundo)	1.51
Promedio (minuto)	0.025

Fuente: propia, julio del 2017.

Teniendo en cuenta, la medición en campo de los tiempos de empackado para ambas empaquetadoras, se lleva a cabo el promedio de dichos datos, con el fin de obtener el valor aproximado de tiempo que se requiere para empackar una unidad de un producto determinado en una cantidad definida.

Debido a que, las características físicas de los productos catalogados como sólidos impalpables son similares y teniendo en cuenta que los valores de tiempo obtenidos para estos productos son semejantes. El tiempo inferido para cada gramaje especificado anteriormente, se asigna a cada producto con este contenido, por tanto, para la estimación de los tiempos totales de empackado de los productos de igual cantidad, se toma el mismo valor de tiempo por unidad.

4.2 Estimación de tiempos totales de empaquetado

Para el cálculo de los tiempos de funcionamiento totales, se requiere relacionar el tiempo de empaquetado por unidad previamente estimado, respecto al número total de unidades empaquetadas por cada máquina mensualmente. Para esto se lleva a cabo, el registro de las unidades empacadas de todos los productos elaborados en el mes de junio, a partir de la información contenida en la orden de producción de la empresa en dicho mes. Por tanto el tiempo total de empaquetado de cada lote de producto, es el tiempo individual por unidad, multiplicado por el número de unidades del lote respectivo.

Tabla 50 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el primero de Junio del 2017.

LAP (IMPALPABLES)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Trisabor	50	2000	0,023	46
Color de raíz	60	1500	0,023	34,5
adobo completo	60	1000	0,023	23
Laurel hoja	10	240	0,023	5,52
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				109,02
Tiempo total de funcionamiento (hora)				1,81

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 51 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el primero de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Bicarbonato	15	900	0,025	22,5
Ablanda carnes	15	200	0,025	5
Ciruelas pasas	100	250	0,027	6,75
Coco	200	25	0,027	0,675
Nuez de Brasil	100	15	0,027	0,405
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				35,33
Tiempo total de funcionamiento (hora)				0,6

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 52 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 2 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
ablada carnes	15	745	0,025	18,625
Coco	200	700	0,027	18,9
ciruela pasa	100	600	0,027	16,2
cebada	500	500	0,033	16,5
Almendra	100	250	0,027	6,75
Nuez pepa	10	25	0,025	0,625
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				77,6
Tiempo total de funcionamiento (hora)				1,29

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 53 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 4 de junio del 2017.

LAP (IMPALPABLES)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Canela molida	15	1000	0,023	23
Cilantro	10	600	0,023	13,8
Pimienta molida	15	2000	0,023	46
Trisabor	60	25	0,023	0,575
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				83,375
Tiempo total de funcionamiento (hora)				1,38

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 54 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 4 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
producto	gramos (g)	unidades producidas	tiempo unidad (min)	tiempo total (min)
Cebada	500	1080	0,033	35,64
Nuez brasil	100	525	0,027	14,175
Nuez brasil	100	275	0,027	7,425
Clavo entero	9	1000	0,024	24
Nuez del Brasil	100	160	0,027	4,32
Ablada carnes	15	15	0,025	0,375
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				85,935
Tiempo total de funcionamiento (hora)				1,43

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 55 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 5 de junio del 2017.

LAP (IMPALPABLES)				
Producto	Gramos(g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Trisabor	60	615	0,023	14,145
Adobo 6 aliños	60	500	0,023	11,5
Ajo molido	100	200	0,025	5
Ajo molido	60	1500	0,023	34,5
Ajo molido	60	800	0,023	18,4
Comino molido	60	225	0,023	5,175
Pimienta molida	60	1000	0,023	23
color	100	425	0,025	10,625
Ajo molido	100	700	0,025	17,5
Pimienta molida	15	3000	0,023	69
Adobo 7 hiervas	60	5000	0,023	115
Adobo 6 aliños	60	1500	0,023	34,5
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				358,345
Tiempo total de funcionamiento (hora)				5,97

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 56 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 5 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Comino grano	20	1325	0,025	33,125
Ciruelas	100	600	0,027	16,2
Pasas	100	1000	0,027	27
Pasas	100	200	0,027	5,4
Ciruelas	100	480	0,027	12,96
Nuez pepa	10	350	0,025	8,75
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				103,435
Tiempo total de funcionamiento (hora)				1.72

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 57 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 6 de junio del 2017.

LAP(IMPALPABLES)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Adobo 6 aliños	100	900	0,025	22,5
Adobo 6 aliños	100	1700	0,025	42,5
Color	100	3000	0,025	75
Laurel	37	1000	0,023	23
Canela molida	50	500	0,023	11,5
Color raíz	60	550	0,023	12,65
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				187,15
Tiempo total de funcionamiento (hora)				3,1

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 58 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para 6 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Pasas	200	1270	0,027	34,29
Nuez moscada pepa	12	2200	0,025	55
Clavo entero	250	12	0,027	0,324
Pimienta pepa	250	5	0,027	0,135
Comino	15	25	0,025	0,625
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				90,374
Tiempo total de funcionamiento (hora)				1,51

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 59 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 7 de junio del 2017.

LAP(IMPALPABLES)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Orégano	25	4000	0,024	96
Ajo molido	100	3015	0,025	75,375
Laurel molido	15	550	0,023	12,65
Comino molido	60	1000	0,023	23
Canela molida	50	1600	0,023	36,8

Tomillo	20	1500	0,023	34,5
Color	60	2000	0,023	46
Orégano	25	2000	0,024	48
Color	500	45	0,03	1,35
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				373,675
Tiempo total de funcionamiento (hora)				6,22

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 60 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 7 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Ablanda carnes	150	425	0,027	11,475
Pimienta grano	10	3000	0,025	75
Comino grano	15	475	0,025	11,875
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				98,35
Tiempo total de funcionamiento (hora)				1.64

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 61 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para 8 de junio del 2017.

LAP (IMPALPABLES)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Ajo molido	60	3100	0,023	71,3
Ajo molido	60	1000	0,023	23
Pimienta molida	60	720	0,023	16,56
Color de raíz	60	1000	0,023	23
Adobo 6 aliños	100	500	0,025	12,5
Nuez moscada molida	15	735	0,023	16,905
Canela molida	50	1000	0,023	23
Sazonador carne	60	1000	0,023	23
Color	500	3	0,03	0,09
Orégano	25	4000	0,024	96
Comino molido	60	1500	0,023	34,5
Sazonador completo	50	2250	0,023	51,75
Pimienta molida	60	1500	0,023	34,5
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				426,105
Tiempo total de funcionamiento (hora)				7,1

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 62 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para 8 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Clavo entero	11	3500	0,025	87,5
Comino grano	30	1200	0,025	30
Nuez moscada pepa	12	1650	0,025	41,25
Almendra	100	450	0,027	12,15
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				170,9
Tiempo total de funcionamiento (hora)				2,85

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 63 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 9 de junio del 2017.

LAP(impalpables)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Ajo molido	60	1700	0,023	39,1
Adobo 6 aliños	100	3075	0,025	76,875
Pistilos de azafrán	5	288	0,023	6,624
Mix pimienta	100	96	0,025	2,4
Adobo 6 aliños	100	2800	0,025	70
Ajo molido	60	8200	0,023	188,6
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				383,599
Tiempo total de funcionamiento (hora)				6,4

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 64 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 9 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Almendra	100	2575	0,027	69,525
Ciruela	100	515	0,027	13,905
Ciruela	100	500	0,027	13,5
Clavo entero	10	425	0,025	10,625
Cuchuco de trigo	500	50	0,031	1,55
Trigo	500	92	0,031	2,852
Maíz amarillo	400	396	0,031	12,276

Cuchuco de maíz	500	100	0,033	3,3
Comino grano	30	325	0,025	8,125
Maíz trillado	500	85	0,033	2,805
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				138,463
Tiempo total de funcionamiento (hora)				2,3

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 65 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 10 de junio del 2017.

LAP(IMPALPABLES)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Laurel molido	15	3000	0,023	69
Tomillo molido	15	740	0,023	17,02
Oregano Molido	15	1700	0,023	39,1
Chimichurry	15	25	0,023	0,575
Bicarbonato	100	95	0,025	2,375
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				128,07
Tiempo total de funcionamiento (hora)				2,13

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 66 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 10 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Linaza	250	1435	0,027	38,745
Linaza entera	250	1825	0,027	49,275
Cuchuco de trigo	500	254	0,033	8,382
Nuez del Brasil	100	45	0,027	1,215
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				97,617
Tiempo total de funcionamiento (hora)				1,62

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 67 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 12 de junio del 2017.

LAP(IMPALPABLES)				
Producto	Gramos(g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Adobo 7 hierbas	60	620	0,023	14,26
Bicarbonato	100	680	0,025	17
Trisabor	20	1000	0,023	23
Trisabor	20	300	0,023	6,9
Color	100	1050	0,025	26,25
Chimichurry	15	600	0,023	13,8
Orégano molido	15	3550	0,023	81,65
Tomillo molido	15	4700	0,023	108,1
Nuez molida	15	2500	0,023	57,5
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				348,46
Tiempo total de funcionamiento (hora)				5,81

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 68 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 12 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Ablanda carnes	60	1000	0,025	25
Trigo	500	390	0,033	12,87
Maíz trillado blanco	500	600	0,033	19,8
Maíz amarillo	400	100	0,031	3,1
Maíz blanco	400	125	0,031	3,875
Clavo entero	10	1050	0,025	26,25
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				90,895
Tiempo total de funcionamiento (hora)				1,51

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 69 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 13 de junio del 2017.

LAP(IMPALPABLES)				
Producto	Gramos(g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Guasca	10	1000	0,023	23
Trisabor	20	100	0,023	2,3
Adobo 7 hierbas	60	3025	0,023	69,575

Canela molida	50	1305	0,023	30,015
Color	500	25	0,03	0,75
Bicarbonato	100	140	0,025	3,5
Color	60	575	0,023	13,225
Color	60	100	0,023	2,3
Espesante	20	3300	0,023	75,9
Curry	15	3010	0,023	69,23
Paprika	15	2000	0,023	46
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				370,295
Tiempo total de funcionamiento (hora)				6,17

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 70 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 13 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Maiz blanco	400	1505	0,031	46,655
Maiz amarillo	400	2040	0,031	63,24
Pimienta grano	30	1125	0,025	28,125
Maiz blanco	400	275	0,031	8,525
Pasa	200	1010	0,027	27,27
Tiempo total de funcionamiento (minutos)				173,815
Tiempo total de funcionamiento (horas)				2,9

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 71 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 14 de junio del 2017.

LAP(IMPALPABLES)				
Producto	Gramos(g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Color	60	2000	0,023	46
Color	100	4000	0,025	100
Adobos 6 aliños	100	2400	0,025	60
Ajo molido	100	1700	0,025	42,5
Canela molida	50	1000	0,023	23
Sazonador completo	50	2700	0,023	62,1
Sazonador carne	60	1875	0,023	43,125
Bicarbonato	100	240	0,025	6
Trisabor	20	50	0,023	1,15
Ajo molido	100	2300	0,025	57,5

Tiempo total de funcionamiento (minutos)	145,385
Tiempo total de funcionamiento (horas)	2,42

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 72 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 14 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Ablanda carnes	15	250	0,025	6,25
Pimienta grano	30	900	0,025	22,5
Nuez del Brasil	100	2005	0,027	54,135
Pimienta pepa	10	1500	0,025	37,5
Clavo entero	11	700	0,025	17,5
Nuez moscada pepa	12	300	0,025	7,5
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				173,815
Tiempo total de funcionamiento (hora)				2,9

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 73 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 15 de junio del 2017.

LAP(IMPALPABLES)				
Producto	Gramos(g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Canela molida	50	1000	0,023	23
Canela molida	50	2500	0,023	57,5
Canela molida	60	1250	0,023	28,75
Laurel	30	500	0,023	11,5
Adobo 7 hierbas	60	4000	0,023	92
Color	60	625	0,023	14,375
Tomillo entero	20	2100	0,023	48,3
Guasca	10	1500	0,023	34,5
Adobo completo especial	30	225	0,023	5,175
Trisabor	20	350	0,023	8,05
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				346,15
Tiempo total de funcionamiento (hora)				5,77

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 74 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 15 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Nuez Brasil	100	775	0,027	20,925
Clavo entero	11	1050	0,025	26,25
Nuez moscada pepa	12	700	0,025	17,5
Linaza entera	250	1000	0,027	27
Pasas	100	1000	0,027	27
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				118,675
Tiempo total de funcionamiento (hora)				1,98

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 75 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 16 de junio del 2017.

LAP(IMPALPABLES)				
Producto	Gramos(g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Tomillo entero	20	900	0,023	20,7
Guasca	10	1500	0,023	34,5
Tomillo entero	10	2000	0,023	46
Oregano molido	10	900	0,023	20,7
Canela molida	30	2000	0,023	46
Muestra gratis 6 liños	10	1000	0,023	23
Adobo especial	30	1000	0,023	23
Trisabor	20	300	0,023	6,9
Pimienta molida	30	1050	0,023	24,15
Oregano entero	10	1000	0,023	23
Comino molido	30	1050	0,023	24,15
Ajo molido	60	1525	0,023	35,075
Trisabor	20	2360	0,023	54,28
Muestras de color	60	1000	0,023	23
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				404,455
Tiempo total de funcionamiento (hora)				6,74

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 76 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 16 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Nuez moscada pepa	12	700	0,025	17,5
Linaza	250	1175	0,027	31,725
Nuez del Brasil	100	175	0,027	4,725
Clavo entero	10	1000	0,025	25
Maiz trillado blanco	500	887	0,033	29,271
Nuez moscada pepa	12	315	0,025	7,875
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				116,096
Tiempo total de funcionamiento (hora)				1,93

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 77 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 17 de junio del 2017.

LAP(IMPALPABLES)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Pimienta molida	60	2300	0,023	52,9
Canela molida	15	2015	0,023	46,345
Adobo 6 aliños	100	1700	0,025	42,5
Ajo	100	600	0,025	15
Trisabor	20	300	0,023	6,9
Pimienta molida	60	50	0,023	1,15
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				164,795
Tiempo total de funcionamiento (hora)				2,75

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 78 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 17 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Comino grano	30	1725	0,025	43,125
Pasas	100	100	0,027	2,7
Pasas	200	1245	0,027	33,615
Pasas	500	15	0,033	0,495
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				79,935
Tiempo total de funcionamiento (hora)				1,33

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 79 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 20 de junio del 2017.

LAP(IMPALPABLES)				
Producto	Gramos(g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Pimienta molida	60	1050	0,023	24,15
Sazonador completo	60	1025	0,023	23,575
Ajo	60	1500	0,023	34,5
Trisabor	50	2000	0,023	46
Ajo molido	60	1225	0,023	28,175
Color de raíz	60	1275	0,023	29,325
Adobo 6 aliños	100	2500	0,025	62,5
Sazonador completo	60	25	0,023	0,575
Ajo molido	60	15	0,023	0,345
Bicarbonato	100	200	0,025	5
Color	60	300	0,023	6,9
Comino	60	300	0,023	6,9
Jengibre	60	50	0,023	1,15
Adobo 6 aliños	60	400	0,023	9,2
Color de raíz	60	2775	0,023	63,825
Orégano entero	500	8	0,03	0,24
Pimienta molida	500	15	0,03	0,45
Ajo molido	500	5	0,03	0,15
Color	500	50	0,03	1,5
Canela molida	500	4	0,03	0,12
Clavo molido	500	4	0,03	0,12
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				344,7
Tiempo total de funcionamiento (hora)				5,74

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 80 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 20 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Pasas	100	1050	0,027	28,35
Pasas	200	2360	0,027	63,72
Clavo entero	5	125	0,025	3,125
Coco	200	75	0,027	2,025

Tiempo total de funcionamiento (minuto)	97,22
Tiempo total de funcionamiento (hora)	1,62

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 81 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 21 de junio del 2017.

LAP(IMPALPABLES)				
Producto	Gramos(g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Pollo criski	600	300	0,03	9
Pollo criski	700	100	0,03	3
Canela molida	50	100	0,023	2,3
Bicarbonato	100	265	0,025	6,625
Laurel hijas	10	200	0,023	4,6
Trisabor	20	4500	0,023	103,5
Jengibre	15	2000	0,023	46
Ajo molido	15	1275	0,023	29,325
Color	15	1275	0,023	29,325
Perejil	10	650	0,023	14,95
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				283,125
Tiempo total de funcionamiento (hora)				4,72

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 82 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 21 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Pasas	200	1470	0,027	39,69
Comino grano	30	150	0,025	3,75
Clavo entero	5	2000	0,025	50
Maiz pira	500	114	0,033	3,762
Cuchuco de maiz	500	137	0,033	4,521
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				101,723
Tiempo total de funcionamiento (hora)				1,69

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 83 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 22 de junio del 2017.

LAP(IMPALPABLES)				
Producto	Gramos(g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Adobo 7 hierbas	60	2625	0,023	60,375
Oregano	25	200	0,024	4,8
Adobo	60	525	0,023	12,075
Canela Molida	50	1500	0,023	34,5
Pimienta molida	60	1200	0,023	27,6
Sazonador completo	50	1500	0,023	34,5
Ajo molido	60	1500	0,023	34,5
Color	60	1500	0,023	34,5
Color	60	1500	0,023	34,5
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				277,35
Tiempo total de funcionamiento (hora)				4,6

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 84 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 22 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Ciruela	100	330	0,027	8,91
Nuez moscada pepa	10	425	0,025	10,625
Comino grano	30	300	0,025	7,5
Ablanda carnes	60	200	0,025	5
Coco	200	50	0,027	1,35
Pimienta pepa	10	300	0,025	7,5
Maíz Pira	500	900	0,033	29,7
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				70,585
Tiempo total de funcionamiento (hora)				1.17

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 85 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 23 de junio del 2017.

LAP(IMPALPABLES)				
Producto	Gramos(g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Adobo 7 hiervas	100	2230	0,025	55,75
Comino molido	50	100	0,023	2,3
Adobo	100	800	0,025	20
Color de raíz	60	1825	0,023	41,975
Trisabor	20	100	0,023	2,3
Ajo	60	1325	0,023	30,475
Orégano	25	1800	0,024	43,2
Sazonador carne	60	1000	0,023	23
Color de raíz	60	1075	0,023	24,725
Adobo completo	60	1000	0,023	23
Color	60	1000	0,023	23
Laurel	30	500	0,023	11,5
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				301,225
Tiempo total de funcionamiento (hora)				5,02

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 86 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 23 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Ciruela	100	100	0,027	2,7
Clavo	5	75	0,025	1,875
Acento	500	3	0,033	0,099
Almendra	500	1	0,033	0,033
Ciruelas	500	4	0,033	0,132
Color	500	5	0,033	0,165
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				5,004
Tiempo total de funcionamiento (hora)				0,08

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 87 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 24 de junio del 2017.

LAP(IMPALPABLES)				
Producto	Gramos(g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Adobo 6 aliños	100	1625	0,025	40,625
Oregano molido	15	1175	0,023	27,025
Pimienta molida	30	1125	0,023	25,875
Pimienta molida	15	350	0,023	8,05
Color	100	700	0,025	17,5
7 hierbas	60	25	0,023	0,575
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				119,65
Tiempo total de funcionamiento (hora)				1,99

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 88 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 24 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Clavo entero	5	565	0,025	14,125
Coco	100	50	0,027	1,35
Ciruella	100	265	0,027	7,155
Frijol calima	500	375	0,033	12,375
Lenteja	500	600	0,033	19,8
Maiz pira	500	900	0,033	29,7
Almendra	100	50	0,027	1,35
Coco	100	50	0,027	1,35
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				87,205
Tiempo total de funcionamiento (hora)				1,45

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 89 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 27 de junio del 2017.

LAP(IMPALPABLES)				
Producto	Gramos(g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Comino molido	60	875	0,023	20,125
Sazonador carne	60	2500	0,023	57,5
Pimienta molida	60	2000	0,023	46
color	500	15	0,03	0,45
Adobo 7 hierbas	60	1000	0,023	23

Adobo 6 años	60	1500	0,023	34,5
Bicarbonato	100	300	0,025	7,5
Hojas de laurel	60	50	0,023	1,15
Comino molido	30	2000	0,023	46
Tomillo	20	1500	0,023	34,5
Guasca	10	2000	0,023	46
Comino molido	60	1125	0,023	25,875
Sazonador completo	50	2400	0,023	55,2
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				397,8
Tiempo total de funcionamiento (hora)				6,63

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 90 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 27 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Nuez moscada pepa	12	2100	0,025	52,5
Linaza entera	250	25	0,027	0,675
Ciruelas	100	415	0,027	11,205
Coco	100	200	0,027	5,4
Almendra	100	250	0,027	6,75
Uva pasa	100	175	0,027	4,725
Pimienta grano	60	25	0,025	0,625
Coco	200	15	0,027	0,405
Linaza entera	250	25	0,027	0,675
Bicarbonato	15	185	0,025	4,625
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				87,585
Tiempo total de funcionamiento (hora)				1,46

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 91 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 28 de junio del 2017.

LAP(IMPALPABLES)				
Producto	Gramos(g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Laurel	30	600	0,023	13,8
Canela molida	50	2000	0,023	46
Color	60	1500	0,023	34,5
Ajo	60	2000	0,023	46

Oregano	25	2000	0,024	48
Trisabor	20	300	0,023	6,9
Laurel hojas	10	200	0,023	4,6
Comino molido	60	15	0,023	0,345
Pimienta molido	60	15	0,023	0,345
Sazonador completo	60	75	0,023	1,725
Adobo 7 hierbas	60	2000	0,023	46
Bicarbonato	100	65	0,025	1,625
Canela molido	100	2000	0,025	50
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				299,84
Tiempo total de funcionamiento (hora)				5

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 92 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 28 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Ablanda carnes	60	100	0,025	2,5
Pimienta pepa	10	1500	0,025	37,5
Clavo entero	11	3500	0,025	87,5
Linaza entera	250	1396	0,027	37,692
Bicarbonato	15	126	0,025	3,15
Ciruelas	100	165	0,027	4,455
Clavo entero	5	350	0,025	8,75
Cuchuco de maiz	500	100	0,033	3,3
Pimienta pepa	250	20	0,027	0,54
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				185,387
Tiempo total de funcionamiento (hora)				3,09

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 93 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 29 de junio del 2017.

LAP (IMPALPABLES)				
Producto	Gramos(g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Adobo 6 aliños	100	2200	0,025	55
color	100	2225	0,025	55,625
Trisabor	20	500	0,023	11,5
Bicarbonato	100	25	0,025	0,625
Ajo molido	100	3000	0,025	75
Canela molida	15	1220	0,024	29,28
Bicarbonato	100	725	0,025	18,125
Ciruelas	500	4	0,03	0,12
Espesante	60	1082	0,023	24,886
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				270,161
Tiempo total de funcionamiento (hora)				4,5

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 94 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 29 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Ablanda carnes	60	900	0,025	22,5
Pimienta pepa	10	1500	0,025	37,5
Comino grano	30	1500	0,025	37,5
Coco	200	600	0,027	16,2
Ciruelas	100	100	0,027	2,7
Maiz amarillo	400	100	0,031	3,1
Almendra laminada	100	200	0,027	5,4
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				124,9
Tiempo total de funcionamiento (hora)				2,08

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 95 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora LAP para el 30 de junio del 2017.

LAP (IMPALPABLES)				
Producto	Gramos(g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Adobo 6 aliños	100	1525	0,025	38,125
Pimienta molida	15	2200	0,023	50,6
Orégano entero	10	5030	0,023	115,69
Trisabor	20	700	0,023	16,1
Canela molida	15	2000	0,023	46
Estragon	5	615	0,023	14,145
Comino molido	60	1200	0,023	27,6
Orégano entero	10	2025	0,023	46,575
Trisabor	20	120	0,023	2,76
Comino molido	60	500	0,023	11,5
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				369,095
Tiempo total de funcionamiento (hora)				6,15

Fuente: propia, julio del 2017.

Tabla 96 Tiempo total de funcionamiento de la empaquetadora PULTAMA para el 30 de junio del 2017.

PULTAMA (GRANOS)				
Producto	Gramos (g)	Unidades producidas	Tiempo unidad (min)	Tiempo total (min)
Linaza	250	1602	0,027	43,254
Maíz blanco	400	515	0,031	15,965
Maíz amarillo	400	416	0,031	12,896
Ciruela	100	600	0,027	16,2
Clavo de olor	5	500	0,025	12,5
Maíz trillado	500	150	0,033	4,95
Pasas	100	1500	0,027	40,5
Tiempo total de funcionamiento (minuto)				146,265
Tiempo total de funcionamiento (hora)				2,43

Fuente: propia, julio del 2017.

De esta manera, se hallan los tiempos de funcionamiento correspondientes a cada máquina, para cada uno de los días laborales de la empresa en el mes de junio, permitiendo así, la posterior estimación del tiempo total de funcionamiento mensual de dichas empaquetadoras.

4.2.1 Tiempos totales de empaquetado

Para la obtención del tiempo de empaquetado total de cada máquina, se realiza la suma de los tiempos parciales de empaquetado de cada día del mes de junio, obtenidos a partir del ponderado de las muestras tomadas en campo y multiplicado por el número de unidades elaboradas (ver Tabla 97). Dicha suma se muestra a continuación:

Tabla 97 Tiempos totales del funcionamiento de cada empaquetadora

FECHA	TIEMPOS DE LAS EMPAQUETADORAS (HORA)	
	LAP	PULTAMA
1 de Junio	1.81	0.6
2 de Junio	0	1.29
4 de Junio	1.38	1.43
5 de Junio	5.97	1.72
6 de Junio	3.1	1.5
7 de Junio	6.22	1.64
8 de Junio	7.1	2.85
9 de Junio	6.4	2.3
10 de Junio	2.13	1.62
12 de Junio	5.81	1.51
13 de Junio	6.17	2.9
14 de Junio	7.35	2.42
15 de Junio	5.77	1.98
16 de Junio	6.74	1.93
17 de Junio	2.75	1.33
20 de Junio	5.74	1.62
21 de Junio	4.72	1.69
22 de Junio	4.6	1.17
23 de Junio	5.02	0.08
24 de Junio	1.99	1.45
27 de Junio	6.63	1.46
28 de Junio	5	3.09
29 de Junio	4.5	2.08
30 de Junio	6.15	2.43
Total de horas de trabajo	113.05	42.09

Fuente: propia, julio del 2017.

Por consiguiente, el tiempo de funcionamiento mensual de la empaquetadora LAP es de 113.05 horas, igualmente el de la empaquetadora Pultama es de 42.09 horas, teniendo en cuenta dichos valores de tiempo, se lleva a cabo la estimación del consumo energético de dichas máquinas.

4.2.2 Tiempo de funcionamiento mensual de los equipos de PROFASOI

Los tiempos de funcionamiento de los equipos de procesamiento de PROFASOI, utilizados para la producción de un batch, se obtuvieron a partir del levantamiento de información realizado en el área productiva de la empresa (*ver Tabla 98*). Dichos valores se extrajeron de la entrevista realizada al operario encargado de la ejecución del proceso, el cual aclara que se producen 5 lotes diariamente durante 6 días de la semana, es decir 120 lotes mensuales. A partir de dicha información se calculan los tiempos de funcionamiento de cada equipo en un mes, ecuación (1), teniendo en cuenta que el tiempo de funcionamiento mensual de las empaquetadoras se estimó previamente.

$$Tiempo\ total = Tiempo\ por\ batch \times Numero\ batches \quad (1)$$

Tabla 98 Tiempos de funcionamiento mensual de los equipos de PROFASOI.

EQUIPO	TIEMPO POR BATCH (HORAS)	TIEMPO TOTAL (HORAS)
Molino de martillos	0.52	62
Mezclador Ribbon Blender 1	0.1333	16
Molino de discos	0.58	70
Mezclador Ribbon Blender	0.25	30
Empaquetadora LAP	0.94	113.05
Empaquetadora Pultama	0.35	42.09
Compresor para etiquetado	0.94	113.05

Fuente: propia, julio del 2017.

Debido a que los equipos del proceso poseen un rango de funcionamiento definido en el modelo de control de procedimientos (*ver sección 1.3.4 de la monografía*), según el tipo de producto que se requiere elaborar), el tiempo por batch utilizado en el cálculo del tiempo de funcionamiento mensual, es el valor máximo del rango de funcionamiento mencionado. Sin embargo en el cálculo del tiempo de trabajo asociado a las máquinas empaquetadoras, se requiere la definición de un tiempo promedio a partir de mediciones en campo del tiempo de empaquetado, ya que el número de unidades empacadas varía según la demanda productiva, por tanto el tiempo de operación de dicha máquina es igualmente variable.

4.2.3 Tiempo de funcionamiento mensual, de los equipos del sistema previo.

El sistema de transporte neumático que antes estaba implementado, generaba vacío a partir de presión positiva, este flujo de aire se proporcionaba por un compresor de tornillo, el cual permanecía encendido 13 horas al día.

Hay que tener en cuenta que las jornadas del sábado son solo de 8 horas así que el compresor funciona solo 7 horas. Con lo anterior se realiza la estimación del tiempo de funcionamiento mensual, obteniendo como resultado 288 horas de funcionamiento al mes

4.2.4 Tiempo de funcionamiento mensual, de los equipos de la mejora de automatización.

La definición, del tiempo de funcionamiento de las máquinas asociadas a la mejora de automatización, se hace a partir del requerimiento operativo, en relación a la cantidad de material que se va a transportar haciendo uso del sistema neumático. Teniendo en cuenta que la cantidad de material por minuto que moviliza el sistema es de 6 Kg y la cantidad de producto por batch que este transporta es de 150 Kg, se procede a estimar el tiempo de funcionamiento de las máquinas asociadas a la mejora para un batch, a partir de esta consideración, ecuación (2).

$$\begin{array}{ccc} 6 \text{ Kg} & \longrightarrow & 1 \text{ minuto} \\ 150 \text{ Kg} & \longrightarrow & \text{Tiempo por batch}_{\text{Blower}} \end{array}$$

$$\text{Tiempo por batch}_{\text{Blower}} = \frac{150 \text{ Kg} * 1 \text{ minuto}}{6 \text{ Kg}} \quad (2)$$

$$\text{Tiempo por batch}_{\text{Blower}} = 25 \text{ minutos}$$

$$\text{Tiempo por batch}_{\text{Blower}} = 0.415 \text{ horas}$$

Con respecto, al resultado obtenido en el análisis anterior, se concluye que el tiempo que requiere el sistema de transporte neumático con la mejora de automatización, para movilizar un batch de producto es de 25 minutos. Ya que, la estimación del consumo energético del sistema de transporte con la mejora, se realiza para un mes y el número de batches elaborados mensualmente son 120, el tiempo de funcionamiento mensual del sistema mejorado, es el producto del número de batches mensuales por el tiempo de transporte de un batches, con la ecuación (3) se hallaron estos valores.

$$\text{Tiempo mensual} = \text{tiempo por batch} * 120 \quad (3)$$

$$\text{Tiempo mensual}_{\text{Blower}} = 0.415 * 120 = 49.8 \text{ horas}$$

4.3 Estimación del consumo mensual de energía de la empresa El Cocinerito

La cuantificación del consumo de energía del proceso se lleva a cabo, haciendo uso de la expresión (4), la cual a partir de las especificaciones de operación asociados a un motor determinado y el tiempo de funcionamiento mensual (ver Tabla 98) [5], permite calcular el consumo energético de cada equipo del proceso y posteriormente definir el consumo total de PROFASOI [4].

$$kWh = \frac{\sqrt{3} * V * I * FP * horas}{1000} \quad (4)$$

kWh: kilo watts hora

FP: factor de potencia

V: voltaje

Horas: horas de operación por mes

I: corriente

4.3.1 Estimación del consumo energético mensual, de los equipos del proceso actual en la empresa.

Cabe resaltar que el compresor de etiquetado se adquirió después de inhabilitar el sistema de transporte neumático, ya que el compresor de tornillo anteriormente realizaba la misma tarea, por esta razón el compresor de tornillo no se tiene en cuenta en esta estimación.

Estimación del consumo energético de los equipos del área de molinos

A continuación, se lleva a cabo el cálculo energético de los equipos del proceso que se ejecuta actualmente:

Pulverizado (Molino de martillos)

$$kWh = \frac{\sqrt{3} * 220 V * 34 A * 0.83 * 62 h}{1000}$$

$$kWh = 666.70 kWh$$

Molienda (Molino de Discos)

$$kWh = \frac{\sqrt{3} * 220 V * 50 A * 0.8 * 70h}{1000}$$

$$kWh = 1066.94kWh$$

Homogeneización(Mezclador Ribbon Blender 1)

$$kWh = \frac{\sqrt{3} * 220 V * 5.9 A * 0.81 * 16 h}{1000}$$

$$kWh = 29.14 kWh$$

Mezcla (Mezclador Ribbon Blender 2)

$$kWh = \frac{\sqrt{3} * 220 V * 11 A * 0.83 * 30}{1000}$$

$$kWh = 104.37 kWh$$

Estimación del consumo energético mensual, de la Empaquetadora LAP para solidos impalpables

El consumo total de energía para este equipo, es la suma de los consumos parciales de cada motor que lo componen. De igual manera el compresor de etiquetado funciona de manera paralela a la empaquetadora LAP, por tanto su tiempo de funcionamiento es el mismo.

- **Empaquetadora LAP para Solidos impalpables**

Empacado impalpables

(Motor principal):

$$kWh = \frac{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 6.7 \text{ A} * 0.76 * 113.05 \text{ h}}{1000}$$

$$kWh = 219.35 \text{ kWh}$$

Empacado impalpables

(Motor arrastre):

$$kWh = \frac{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 2.1 \text{ A} * 0.75 * 113.05 \text{ h}}{1000}$$

$$kWh = 67.85 \text{ kWh}$$

Empacado impalpables

(Motor dosificación):

$$kWh = \frac{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 3.9 \text{ A} * 0.75 * 113.05 \text{ h}}{1000}$$

$$kWh = 126 \text{ kWh}$$

Empacado impalpables

(Motor agitador):

$$kWh = \frac{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 2.1 \text{ A} * 0.75 * 113.05 \text{ h}}{1000}$$

$$kWh = 67.85 \text{ kWh}$$

Empacado impalpables

(Motor banda transportadora):

$$kWh = \frac{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 2.2 \text{ A} * 0.67 * 113.05 \text{ h}}{1000}$$

$$kWh = 63.50 \text{ kWh}$$

Empacado impalpables (Compresor para etiquetado):

$$kWh = \frac{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 14.2 \text{ A} * 0.78 * 113.05 \text{ h}}{1000}$$

$$kWh = 477.13 \text{ kWh}$$

Estimación del consumo energético mensual, de la empaquetadora PULTAMA para granos

El consumo total de energía para este equipo, es la suma consumos parciales de cada motor que compone esta empaquetadora.

- **Empaquetadora LAP para Solidos impalpables**

Empacado granos

(Motor principal):

$$kWh = \frac{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 3.8 \text{ A} * 0.74 * 42.09\text{h}}{1000}$$

$$kWh = 45.10 \text{ kWh}$$

Empacado granos

(Motor de arrastre):

$$kWh = \frac{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 6.7 \text{ A} * 0.75 * 42.09\text{h}}{1000}$$

$$kWh = 80.59 \text{ kWh}$$

Empacado granos

(Motor dosificación):

$$kWh = \frac{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 3.75 \text{ A} * 0.74 * 42.09\text{h}}{1000}$$

$$kWh = 44.51 \text{ kWh}$$

Empacado granos

(Motor banda transportadora):

$$kWh = \frac{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 2.2 \text{ A} * 0.67 * 42.09\text{h}}{1000}$$

$$kWh = 23.64 \text{ kWh}$$

De esta manera, se definen los consumos de energía de cada equipo del proceso, a partir del levantamiento de información realizada en el área productiva. A partir de estos valores de energía se cuantifica el consumo energético total, sumando el consumo de cada equipo, este consumo dio como resultado 3082.67 kWh.

4.3.2 Estimación del consumo energético mensual, del proceso con el sistema neumático previo

Cuando estaba implementado el sistema de transporte neumático, el compresor de tornillo era el corazón de dicho sistema, cuya funciones era suministrar aire positivo para realizar la succión de material al área de empacado y proporcionar aire comprimido para el etiquetado de las bolsas de los productos, es por esto que no

se tiene en cuenta el compresor de etiquetado para la cuantificación de este consumo.

El consumo total de energía para el proceso con el sistema neumático previo, es la suma consumos parciales de cada motor estimados anteriormente en la *sección 4.3.1*, adicionalmente se suma el consumo del compresor de tornillo y se extrae el consumo del compresor de etiquetado.

Sistema neumático previo (Compresor de tornillo):

$$kWh = \frac{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 80\text{A} * 0.81 * 288 \text{ h}}{1000}$$

$$kWh = 7111.33 \text{ kWh}$$

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores el consumo total del proceso con el sistema neumático previamente implementado, es de 9716.87 kWh.

4.3.3 Estimación del consumo energético mensual del proceso, con el sistema neumático mejorado

Para llevar a cabo la estimación del consumo de energía del proceso con el sistema neumático mejorado, se realizó el cálculo del consumo de los equipos que constituyen la mejora de automatización, a partir del tiempo de funcionamiento de los motores pertenecientes a dichos equipos [4].

En este caso se tiene en cuenta que el compresor de tornillo ha sido retirado y se ha adquirido el compresor de etiquetado, por lo tanto el consumo a tener en cuenta es el del compresor de etiquetado.

Estimación del consumo energético mensual, de los equipos de la mejora de automatización:

La mejora de automatización para el sistema neumático, está compuesta de 3 blowers regenerativos, los cuales llevan a cabo la aspiración de producto a través de una tubería de transporte. A continuación, se estima el consumo energético de estos dispositivos, a partir de sus características técnicas:

Sistema neumático mejorado (blower regenerativo):

$$kWh = \frac{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 6.3 \text{ A} * 0.8 * 49.8 \text{ h}}{1000}$$

$$kWh = 95.64 \text{ kWh}$$

A partir, de los consumos de energía de cada equipo del proceso, obtenidos con el levantamiento de información realizada en el área productiva, se cuantifica el consumo energético total del proceso, incluyendo los equipos de la mejora propuesta para el sistema de transporte neumático(ver Tabla 99).

Tabla 99 Consumo estimado mensual del proceso con el sistema neumático previo.

Equipo	Voltaje [voltios]	Corriente [amperios]	Horas/ mes	FP	Consumo mensual [kWh]
Molino de martillos	220	34	62	0.83	666.70
Mezclador Ribbon Blender 1	220	5.9	16	0.81	29.14
Molino de discos	220	50	70	0.8	1066.94
Mezclador Ribbon Blender 2	220	11	30	0.83	104.37
Compresor de etiquetado	220	14.2	113.05	0.78	477.13
Empaquetadora1 LAP (motor principal)	220	6.7	113.05	0.76	219.35
Motor de arrastre	220	2.1	113.05	0.75	67.85
Motor de dosificación	220	3.9	113.05	0.75	126
Motor agitador	220	2.1	113.05	0.75	67.85
Motor banda transportadora	220	2.2	113.05	0.67	63.50
Empaquetadora2 (motor principal)	220	3.8	42.09	0.74	45.10
Motor de arrastre	220	6.7	42.09	0.75	80.59
Motor de dosificación	220	3.75	42.09	0.74	44.51
Motor banda transportadora	220	2.2	42.09	0.67	23.64
Blower 1	220	6.3	49.8	0.8	95.64
Blower 2	220	6.3	49.8	0.8	95.64
Blower 3	220	6.3	49.8	0.8	95.64
Total consumo					3369.6

Fuente: propia, julio del 2017.

De esta manera, se definen los consumos de energía de cada equipo del proceso, a partir del levantamiento de información realizada en el área productiva. A partir de estos valores de energía se cuantifica el consumo energético total, sumando el consumo de cada equipo, este consumo dio como resultado 3369.6 kWh.

Anexo E

5 Revisión sistemática de artículos de eficiencia energética

5.1 Introducción

La técnica de clasificación sistemática se lleva a cabo a través del desarrollo de 5 etapas [6] , las cuales permiten realizar una revisión bibliográfica con respecto a estudios previos asociados a métodos de eficiencia energética en procesos industriales y de esta manera seleccionar el más idóneo.

5.2 Proceso de clasificación sistemática

El proceso de clasificación sistemática, se realiza mediante una serie de etapas que conllevan a una visión general del área de investigación, dichas etapas son: (1) definición de la pregunta de investigación, (2) búsqueda en bases de datos, (3) criterios de exclusión e inclusión (4) selección de artículos y (5) respuesta a la pregunta de investigación. A continuación, se definen las etapas para la clasificación [6].[7]:

5.2.1 Definición de la pregunta de investigación

La pregunta a la cual se pretende dar respuesta con esta revisión bibliográfica es:

¿Cuáles son los métodos más representativos que permiten mejorar la eficiencia energética en procesos industriales?

5.2.2 Búsqueda en bases de datos

A partir de la pregunta de investigación definida, se lleva a cabo la búsqueda de documentación respecto a métodos de eficiencia energética, por medio de diferentes bibliotecas digitales usando palabras claves para acotar la búsqueda, logrando así seleccionar el material más importante para este proceso de investigación. Para llevar a cabo la búsqueda que abarca el caso de estudio, se utilizaron los buscadores de información científica: IEEE Xplore, ScienceDirect y Springer link.

Para la utilización de los buscadores mencionados, se hace uso de distintas cadenas de caracteres, con las que se llevó a cabo la búsqueda de información según el título de una publicación o palabras claves de la misma. A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada cadena de búsqueda utilizada, las cuales se definieron teniendo en cuenta métodos para la eficiencia energética en procesos industriales, inicialmente se plantean los resultados arrojados respecto a la cadena TITLE (*ver Tabla 100*).

- **Listado de publicaciones encontradas**

Tabla 100 Resultados de la búsqueda con cadena de búsqueda TITLE.

CADENA DE BÚSQUEDA (TITLE)	SCIENCE DIRECT	IEEE	SPRINGER
Methodology AND energy efficiency AND Industrial processes	1	0	5
Energy efficiency AND Industrial processes	6	2	2
Strategies AND energy efficiency AND Industrial processes	0	0	0
Energy Efficiency AND Pneumatic System	1	2	0
Alternatives AND Energy Efficiency AND industrial processes	0	0	0
Procedure AND Energy Efficiency AND Pneumatic System	0	0	0
Method AND Energy Efficiency AND Pneumatic System	0	0	0
Method AND Energy Efficiency AND Industrial processes	0	0	1

Fuente: propia, marzo del 2017.

Posteriormente, para segmentar la investigación y obtener resultados más específicos, se ejecuta la búsqueda por palabras clave TAK, teniendo en cuenta la misma terminología definida en la anterior cadena de búsqueda. Dichos resultados se muestran a continuación (*ver Tabla 101*):

Tabla 101 Resultados de la búsqueda con cadena de búsqueda TAK

CADENA DE BÚSQUEDA (TAK)	SCIENCE DIRECT	IEEE	SPRINGER
Methodology AND energy efficiency AND Industrial processes	167	16	10
Energy efficiency AND Industrial processes	1855	380	5
Strategies AND energy efficiency AND Industrial processes	160	27	5
Energy Efficiency AND Pneumatic System	55	46	0
Alternatives AND Energy Efficiency AND industrial processes	208	18	3
Procedure AND Energy Efficiency AND Pneumatic System	5	0	0
Method AND Energy Efficiency AND Pneumatic System	13	6	7
Method AND Energy Efficiency AND industrial processes	490	88	10

Fuente: propia, marzo del 2017.

5.2.3 Criterios de exclusión e inclusión

En el proceso de selección de documentos que planteen el método más adecuado, para la propuesta de la mejora de automatización, se establece una serie de criterios a partir de los cuales se excluye e incluye las publicaciones científicas que aborden métodos para la eficiencia energética en procesos industriales, según se requiere.

Criterio 1: documentos publicados antes del año 2011.

Criterio 2: archivo no disponible para descarga en formato digital.

Criterio 3: publicaciones en idiomas diferentes al inglés y español.

Criterio 4: publicaciones que no contengan temas como: eficiencia energética, consumo energético y energía.

A partir, de la aplicación de estos criterios se logra filtrar la búsqueda, con el fin de obtener resultados con un mayor nivel de detalle, reduciendo así el número de publicaciones abordadas. Inicialmente se plantean los resultados arrojados respecto a la cadena TITLE (*ver Tabla 102*).

Tabla 102 Resultados de la búsqueda con cadena de búsqueda TITLE.

CADENA DE BÚSQUEDA (TITLE)	SCIENCE DIRECT	IEEE	SPRINGER
Methodology AND energy efficiency AND Industrial processes	1	0	2
energy efficiency AND Industrial processes	4	2	1
Strategies AND energy efficiency AND Industrial processes	0	0	0
Energy Efficiency AND Pneumatic System	0	1	0
Alternatives AND Energy Efficiency AND industrial processes	0	0	0
procedure AND Energy Efficiency AND Pneumatic System	0	0	0
Method AND Energy Efficiency AND Pneumatic System	0	0	0
method AND Energy Efficiency AND Industrial processes	0	0	1

Fuente: propia, marzo del 2017.

Posteriormente, para segmentar la investigación y obtener resultados más específicos, se ejecuta la búsqueda por palabras clave, con los criterios de inclusión y exclusión mencionados y teniendo en cuenta la misma terminología definida en la anterior cadena de búsqueda. Dichos resultados se muestran a continuación (*ver Tabla 103*):

Tabla 103 Resultados de la búsqueda con cadena de búsqueda TAK.

CADENA DE BÚSQUEDA (TAK)	SCIENCE DIRECT	IEEE	SPRINGER
Methodology AND energy efficiency AND Industrial processes	42	13	5
Energy efficiency AND Industrial processes	211	221	1
Strategies AND energy efficiency AND Industrial processes	27	19	3
Energy Efficiency AND Pneumatic System	33	31	0
Alternatives AND Energy Efficiency AND industrial processes	149	8	0
Procedure AND Energy Efficiency AND Pneumatic System	3	0	0
Method AND Energy Efficiency AND Pneumatic System	7	3	2
Method AND Energy Efficiency AND industrial processes	59	52	5

Fuente: propia, marzo del 2017.

5.2.4 Selección de artículos

El proceso de selección se realiza teniendo en cuenta: título, resumen y contenido de cada publicación; con el objetivo de establecer aquellos que sean a fines a la presente revisión sistemática, en cuanto a aspectos metodológicos y aplicativos (ver *Tabla 104*).

Tabla 104 Consolidado de artículos sobre métodos de eficiencia energética en procesos industriales.

B.D.	CADENA	TITULO	TOPICO	PUBLICACIÓN	DOI	ANO
ScienceDirect	methodology AND energy efficiency AND Industrial processes	A general methodology for energy efficiency of industrial chemical processes	Metodología para la mejora de la eficiencia energética en procesos químicos.	ProceComputer Aided Chemical Engineering	10.1016/B978-0-444-63433-7.50053-5	2014
Springer Link	methodology AND energy efficiency AND Industrial processes	Simulation and optimization of energy consumption in cold storage chambers from the horticultural industry	Metodología de simulación y optimización del consumo energético en cámaras frigoríficas.	International Journal of Energy and environmental Engineering	10.1007/s40095-014-0088-2	2014
Science Direct	Methodology AND energy efficiency AND Industrial processes	Framework methodology for increased energy efficiency and renewable feedstock integration in industrial clusters	Metodología para el aumento de la eficiencia energética en conglomerados industriales.	Applied Energy	10.1016/j.apenergy.2013.03.083	2013
IEEE XPLORE	Methodology AND energy efficiency AND Industrial processes	Potentials for reducing primary energy consumption through energy audit in the packaging paper factory	Metodología para auditar procesos industriales.	Environmental Friendly Energies and Applications (EFEA)	10.1109/EFEA.2014.7059957	2015
IEEE XPLORE	Methodology AND energy efficiency AND Industrial processes	Energy Audit as a Tool for Improving Overall Energy Efficiency in Serbian Industrial Sector	Metodología para auditar procesos industriales.	Environment Friendly Energies and Applications (EFEA)	10.1109/EFEA.2012.6294075	2012
Science Direct	Methodology AND energy efficiency AND Industrial processes	The energy saving opportunity in targeting non-value added manufacturing activities-a structured approach	Enfoque estructurado para el planteamiento de oportunidades de ahorro de energía.	Journal of Cleaner Production	10.1016/j.jclepro.2014.05.044	2014
Science Direct	Energy efficiency AND industrial Processes	A review on energy saving strategies in industrial sector	Estrategias para mejorar la eficiencia energética en el sector industrial.	Renewable and Sustainable Energy Reviews	10.1016/j.rser.2010.09.003	2011
Science Direct	Energy efficiency AND industrial Processes	Energy efficiency measurement in industrial processes	Metodología para construir un marco de trabajo para medir eficiencia energética en procesos industriales.	Energy	10.1016/j.energy.2011.11.054	2012
Science Direct	Energy efficiency AND industrial Processes	Development of an energy management system for a naphtha reforming plant: A data mining approach	Sistema de gestión energética para una planta de reformado de nafta.	Energy Conversion and Management	10.1016/j.enconman.2012.11.016	2013
IEEE XPLORE	Energy efficiency AND industrial Processes	Energy saving in industrial processes using modern data acquisition systems	Método para mejorar la eficiencia energética en procesos industriales.	Digital Information Processing and Communications (ICDIPC)	10.1109/ICDIPC.2012.6257287	2012
Science Direct	Energy efficiency AND industrial Processes	Strategies to improve industrial energy efficiency	Estrategias para aumentar la eficiencia energética en empresas.	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2014.06.074	2014
IEEE XPLORE	Energy efficiency AND industrial Processes	Energy efficiency in the milling process of dehydrated products, using hammer mill	Metodología para reducir el consumo de energía en procesos de molienda	IEEE International Conference on Automatica (ICA-ACCA)	10.1109/ICA-ACCA.2016.7778492	2016
IEEE XPLORE	Energy efficiency AND Pneumatic System	Pneumatic conveying system optimization	Métodos para mejorar sistemas de transporte neumático, para reducir consumo energético.	IEEE Transactions on Industry Applications	10.1109/TIA.2014.2346695	2014
Science Direct	Energy efficiency AND Pneumatic System	A framework for energy reduction in manufacturing process chains (E-MPC) and a case study from the Turkish household appliance industry	Marco de trabajo para la reducción del consumo energético en la cadena de proceso.	Journal of Cleaner Production	10.1016/j.jclepro.2015.09.106	2016
IEEE XPLORE	Method AND Energy Efficiency AND Industrial System	Novel Method of Benchmarking Energetic Efficiency of Industrial Systems	Método para reducir el consumo energético al mínimo requerido	Systems Conference (SysCon)	10.1109/SYSCON.2015.7116777	2015

Fuente: propia, marzo del 2017.

Posteriormente se procede a analizar los artículos seleccionados con el fin de dar respuesta a la pregunta de investigación, por la cual se realiza la revisión sistemática.

5.2.5 Análisis y clasificación de artículos

Para dar respuesta a la pregunta de investigación planteada inicialmente, se llevó a cabo una revisión minuciosa de los documentos encontrados a partir de la búsqueda, con respecto a métodos para la eficiencia energética en procesos industriales. El resultado de dicha revisión se plantea a continuación (*ver Tabla 105*):

5.2.6 Respuesta a la pregunta de investigación RQ1

Tabla 105 Métodos para la eficiencia energética más representativos.

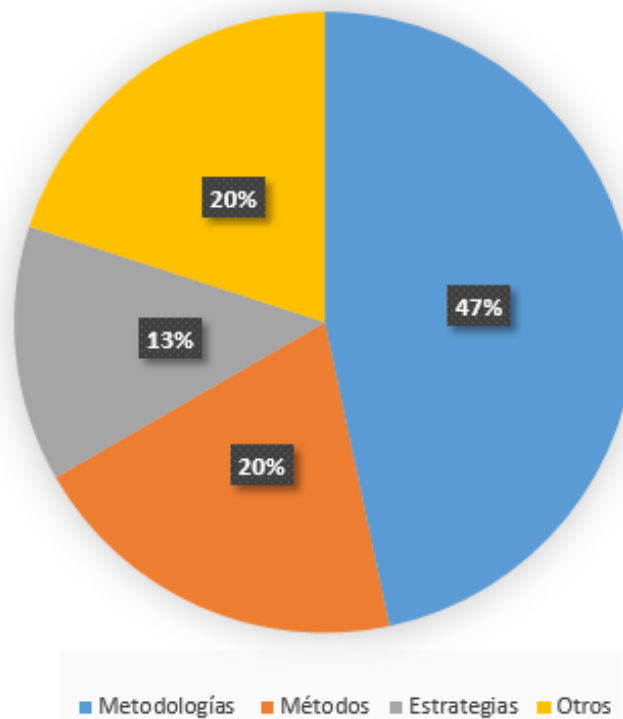
RQ1 ¿Cuáles son los métodos más representativos que permiten mejorar la eficiencia energética en procesos industriales?	
Metodologías	<ul style="list-style-type: none"> • A general methodology for energy efficiency of industrial chemical processes [8]. • Simulation and optimization of energy consumption in cold storage chambers from the horticultural industry [9]. • Framework methodology for increased energy efficiency and renewable feedstock integration in industrial clusters [10]. • Potentials for reducing primary energy consumption through energy audit in the packaging paper Factory [11]. • Energy Audit as a Tool for Improving Overall Energy Efficiency in Serbian Industrial Sector [12]. • Energy efficiency measurement in industrial processes [13]. • Energy efficiency in the milling process of dehydrated products, using hammer mill [14].
Métodos	<ul style="list-style-type: none"> • Energy saving in industrial processes using modern data acquisition systems [15]. • Pneumatic conveying system optimization [16]. • Novel Method of Benchmarking Energetic Efficiency of Industrial Systems [17].
Estrategias	<ul style="list-style-type: none"> • A review on energy saving strategies in industrial sector [18]. • Strategies to improve industrial energy efficiency [19].

Otros	<ul style="list-style-type: none"> • The energy saving opportunity in targeting non-value added manufacturing activities-a structured approach [20]. • Development of an energy management system for a naphtha reforming plant: A data mining approach [21]. • A framework for energy reduction in manufacturing process chains (E-MPC) and a case study from the Turkish household appliance industry [22].
--------------	--

Fuente: propia, marzo del 2017.

Teniendo en cuenta, la documentación encontrada respecto al tema de investigación, se puede apreciar gráficamente, que un 47% de las publicaciones seleccionadas plantean una metodología para la eficiencia energética; un 20 % de estos documentos propone un método; el 13% establece estrategias y el 20% desarrollan otros tipos de procedimientos para la eficiencia energética, tales como un enfoque estructurado, un marco de trabajo y un sistema de gestión energética, los cuales permiten la reducción del consumo de energía en procesos industriales (ver *Figura 8*).

Figura 8 Porcentaje de los métodos encontrados en la revisión sistemática.



Fuente: propia, marzo del 2017

Anexo F

6 Procedimiento de diseño del sistema de transporte neumático del PROFASOI

Con el fin, de plantear la mejora de automatización de manera idónea, se requiere desarrollar una serie de pasos para el dimensionamiento y definición de los parámetros asociados a la mejora del sistema neumático. Por tanto, en este anexo se realizan los cálculos y análisis respecto a los aspectos esenciales, tales como los volúmenes de las líneas de transporte, densidades de los materiales transportados y verificación de los requerimientos operativos de la tecnología generadora de vacío.

6.1 Cálculo de volúmenes del circuito neumático

Para llevar a cabo, el cálculo del volumen de aire que se requiere desplazar en las líneas de transporte del sistema neumático, se realizó la medición y posterior cálculo del volumen de las tolvas dosificadoras y de las tuberías que lo componen, ya que requiere la reutilización de la línea de transporte existente en el proceso.

6.1.1 Volumen Tolva de Descarga

Para realizar el cálculo del volumen de la tolva de descarga (*ver Figura 9*), se lleva a cabo la medición y posterior cuantificación de los volúmenes individuales de las formas que componen dicho elemento, este procedimiento se realiza a continuación:

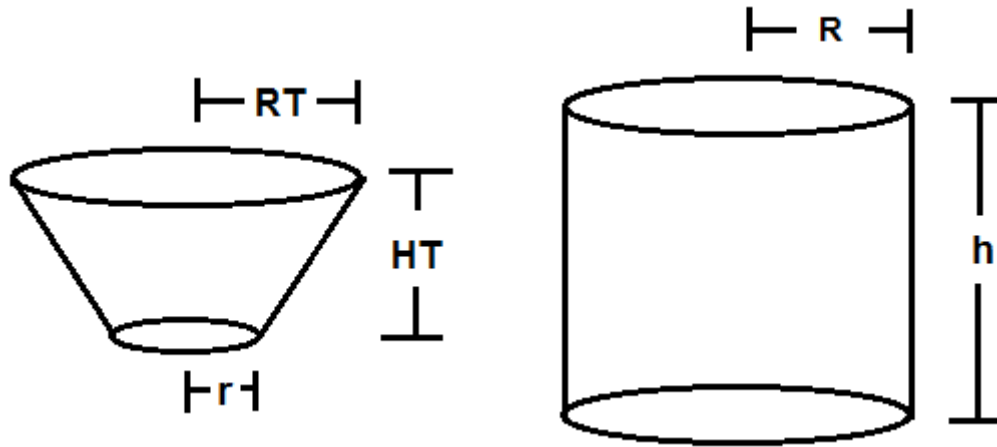
Figura 9 Tolva dosificadora.



Fuente: propia, marzo del 2017.

La tolva dosificadora donde finaliza el sistema, está constituida por dos elementos geométricos típicos, estos son un tronco de cono (*ver Figura 10.a*) y un cilindro (*ver Figura 10.b*).

Figura 10 Formas que componen la tolva de dosificadora.



a) Tronco de cono

b) Cilindro

Fuente: propia, marzo del 2017.

Para hallar el volumen de la tova de descarga, se suman los volúmenes individuales de las formas que componen dicho elemento, los cuales se hallan utilizando las siguientes ecuaciones (5) y (6):

Ecuación para hallar el volumen del cilindro

$$V_c = \pi \cdot R^2 \cdot h \tag{5}$$

$R =$ radio del cilindro

$h =$ altura

Ecuación para hallar el volumen del tronco de cono

$$V_{tc} = \frac{HT}{3} \cdot \pi \cdot (RT^2 + r^2 + RT \cdot r) \tag{6}$$

$RT =$ Radio mayor

$r =$ Radio menor

$HT =$ altura del tronco de cono

Teniendo en cuenta las ecuaciones anteriores (5) y (6) y las dimensiones siguientes (ver *Tabla 106*).

Tabla 106 Dimensiones de la tolva dosificadora

Forma	Radio menor(r)	Radio mayor(R)	Radio (rc)	Longitud (h)
Tronco de cono	6.5	17	-	26
Cilindro	-	-	17	50

Fuente: propia, marzo del 2017

Volumen del cilindro

$$\begin{aligned} Area_{Tc} &= \pi \cdot R^2 & (7) \\ Area_{Tc} &= \pi \cdot (17)^2 = 907.92 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Retomando la ecuación (5) y reemplazando los valores (ver *Tabla 106*), se tiene:

$$\begin{aligned} V_c &= (907.92 \text{ cm}^2) \cdot (50 \text{ cm}) \\ V_c &= 45396.01 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Volumen del tronco de cono

Retomando la ecuación (6) y reemplazando los valores (ver *Tabla 106*), se tiene:

$$\begin{aligned} V_{tc} &= \frac{26}{3} \cdot \pi \cdot (17^2 + 6.5^2 + ((17) \cdot (6.5))) \\ V_{tc} &= 12027.59 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Volumen total de la tolva dosificadora

Conocidos los volúmenes de las figuras referentes a la tolva dosificadora, se procede a hallar el volumen total de la tolva con la ecuación (8)

$$\begin{aligned} V_{td} &= V_{tc} + V_c & (8) \\ V_{td} &= 57423,6 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

6.1.2 Volumen de la tubería

Para realizar el cálculo del volumen de la tubería (ver *Figura 11*), se tomaron las medidas de las 3 líneas que conforman el sistema neumático que previamente implementado.

Figura 11 Líneas del sistema neumático previamente implementado.



Fuente: propia, marzo del 2017.

Las 3 líneas se clasificaron como secciones donde cada una contiene tramos, estos pueden ser verticales, horizontales o curvos. A continuación se muestra la longitud de las líneas (*ver Tabla 107*).

Tabla 107 Longitud de los tramos de las secciones de la tubería neumática.

TRAMO	LONGITUD (h) [cm]
Sección 1	
T1	94
T2	200
T3	94
T4	1095
Sección 2	
T5	94
T6	237
T7	94
T8	985
Sección 3	
T9	94
T10	274
T11	94
T12	1124
T13	94
T14	168

Fuente: propia, marzo del 2017.

Para llevar a cabo, el cálculo del volumen de la tubería, se consideró este tubo como un cilindro alargado, dicho cálculo se realiza a partir de la ecuación (5). En dicho cálculo, se tiene en cuenta que el radio es común para todas las secciones de la tubería, el radio es de 2.4 cm. Cada tramo posee una longitud previamente especificada (*ver Tabla 107*).

Volumen para la sección 1

Volumen del Tramo 1 (T1)

Retomando la ecuación (7) y reemplazando $R = 2.4$ cm

$$\text{Area} = \pi \cdot (2,4)^2 = 18.09557 \text{ cm}^2$$

Retomando la ecuación (5)

$$V_{t1} = (18.09557 \text{ cm}^2) * (94 \text{ cm})$$

$$V_{t1} = 1700.98 \text{ cm}^3$$

Volumen del Tramo 2 (T2)

Retomando la ecuación (7) y reemplazando $R = 2.4$ cm

$$\text{Area} = \pi \cdot (2,4)^2 = 18.09557 \text{ cm}^2$$

Retomando la ecuación (5)

$$V_{t2} = (18.09557 \text{ cm}^2) * (200 \text{ cm})$$

$$V_{t2} = 3619.11 \text{ cm}^3$$

Volumen del tramo 3 (T3)

Retomando la ecuación (7) y
reemplazando $R = 2.4 \text{ cm}$

$$\text{Area} = \pi \cdot (2,4)^2 = 18.09557 \text{ cm}^2$$

Retomando la ecuación (5)

$$V_{t3} = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$V_{t3} = (18.09557 \text{ cm}^2) * (94)$$

$$V_{t3} = 1700.98 \text{ cm}^3$$

Volumen del tramo 4 (T4)

Retomando la ecuación (7) y
reemplazando $R = 2.4 \text{ cm}$

$$\text{Area} = \pi \cdot (2,4)^2 = 18.09557 \text{ cm}^2$$

Retomando la ecuación (5)

$$V_{t4} = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$V_{t4} = (18.09557 \text{ cm}^2) * (1095)$$

$$V_{t4} = 19814.65 \text{ cm}^3$$

Volumen para la sección 2**Volumen del tramo 5 (T5)**

Retomando la ecuación (7) y
reemplazando $R = 2.4 \text{ cm}$

$$\text{Area} = \pi \cdot (2,4)^2 = 18.09557 \text{ cm}^2$$

Retomando la ecuación (5)

$$V_{t5} = (18.09557 \text{ cm}^2) * (94)$$

$$V_{t5} = 1700.98 \text{ cm}^3$$

Volumen del tramo 6 (T6)

Retomando la ecuación (7) y
reemplazando $R = 2.4 \text{ cm}$

$$\text{Area} = \pi \cdot (2,4)^2 = 18.09557 \text{ cm}^2$$

Retomando la ecuación (5)

$$V_{t6} = (18.09557 \text{ cm}^2) * (237)$$

$$V_{t6} = 4288.65$$

Volumen del tramo 7 (T7)

Retomando la ecuación (7) y
reemplazando $R = 2.4 \text{ cm}$

$$\text{Area} = \pi \cdot (2,4)^2 = 18.09557 \text{ cm}^2$$

Retomando la ecuación (5)

$$V_{t7} = (18.09557 \text{ cm}^2) * (94)$$

$$V_{t7} = 1700.98 \text{ cm}^3$$

Volumen del tramo 8 (T8)

Retomando la ecuación (7) y
reemplazando $R = 2.4 \text{ cm}$

$$\text{Area} = \pi \cdot (2,4)^2 = 18.09557 \text{ cm}^2$$

Retomando la ecuación (5)

$$V_{t8} = (18.09557 \text{ cm}^2) * (985)$$

$$V_{t8} = 17824.14 \text{ cm}^3$$

Volumen para la sección 3

Volumen del tramo 9 (T9)

Retomando la ecuación (7) y
reemplazando $R = 2.4 \text{ cm}$

$$\text{Area} = \pi \cdot (2,4)^2 = 18.09557 \text{ cm}^2$$

Retomando la ecuación (5)

$$V_{t9} = (18.09557 \text{ cm}^2) * (94)$$

$$V_{t9} = 1700.98 \text{ cm}^3$$

Volumen del tramo 11 (T11)

Retomando la ecuación (7) y
reemplazando $R = 2.4 \text{ cm}$

$$\text{Area} = \pi \cdot (2,4)^2 = 18.09557 \text{ cm}^2$$

Retomando la ecuación (5)

$$V_{t11} = (18.09557 \text{ cm}^2) * (94)$$

$$V_{t11} = 1700.98 \text{ cm}^3$$

Volumen del tramo 13 (T13)

Retomando la ecuación (7) y
reemplazando $R = 2.4 \text{ cm}$

$$\text{Area} = \pi \cdot (2,4)^2 = 18.09557 \text{ cm}^2$$

Retomando la ecuación (5)

$$V_{t13} = (18.09557 \text{ cm}^2) * (94)$$

$$V_{t13} = 1700.98 \text{ cm}^3$$

Volumen del tramo 10 (T10)

Retomando la ecuación (7) y
reemplazando $R = 2.4 \text{ cm}$

$$\text{Area} = \pi \cdot (2,4)^2 = 18.09557 \text{ cm}^2$$

Retomando la ecuación (5)

$$V_{t10} = (18.09557 \text{ cm}^2) * (274)$$

$$V_{t10} = 4958.19 \text{ cm}^3$$

Volumen del tramo 12 (T12)

Retomando la ecuación (7) y
reemplazando $R = 2.4 \text{ cm}$

$$\text{Area} = \pi \cdot (2,4)^2 = 18.09557 \text{ cm}^2$$

Retomando la ecuación (5)

$$V_{t12} = (18.09557 \text{ cm}^2) * (1124)$$

$$V_{t12} = 20339.42 \text{ cm}^3$$

Volumen del tramo 14 (T14)

Retomando la ecuación (7) y
reemplazando $R = 2.4 \text{ cm}$

$$\text{Area} = \pi \cdot (2,4)^2 = 18.09557 \text{ cm}^2$$

Retomando la ecuación (5)

$$V_{t14} = (18.09557 \text{ cm}^2) * (168)$$

$$V_{t14} = 3040.05 \text{ cm}^3$$

El resultado del cálculo respecto al volumen de cada tramo de la sección 1, se registra a continuación (ver *Tabla 108*).

Tabla 108 Volumen de cada tramo de la sección 1

TRAMO TUBERÍA (Tn)	VOLUMEN (V) [cm³]
T1	1700.98
T2	3619.11
T3	1700.98
T4	19814.65
Total	26835.72

Fuente: propia, marzo del 2017.

El resultado del cálculo respecto al volumen de cada tramo de la sección 1, se registra a continuación (ver *Tabla 109*).

Tabla 109 Volumen de cada tramo de la sección 2

TRAMO TUBERÍA (Tn)	VOLUMEN(V) [cm³]
T5	1700.98
T6	4288.65
T7	1700.98
T8	17824.14
Total	25514.75

Fuente: propia, marzo del 2017.

El resultado del cálculo respecto al volumen de cada tramo de la sección 1, se registra a continuación (ver *Tabla 110*).

Tabla 110 Volumen de cada tramo de la sección 3

TRAMO TUBERÍA (Tn)	VOLUMEN(V) [cm³]
T9	1700.98
T10	4958.19
T11	1700.98
T12	20339.42
T13	1700.98
T14	3040.05
Total	33440.6

Fuente: propia, marzo del 2017.

6.1.3 Volúmenes totales circuito neumático

A partir, del cálculo anterior, de los volúmenes de los elementos que componen el circuito neumático, *ver sección 6.1.1 y 6.1.2*, se procede a cuantificar la cantidad de aire por unidad de tiempo que se requiere desplazar en el sistema de transporte. El volumen total de este sistema, se obtiene con la sumatoria de los volúmenes parciales de los elementos mencionados (*ver Tabla 111*).

Por otro lado hay que tener en cuenta que cada sección requiere una tolva de dosificadora, es por esta razón que en el cálculo del volumen total aparecen 3 tolvas.

Tabla 111 Volúmenes de los elementos del circuito neumático

ELEMENTO	VOLUMEN [cm^3]
Tolva dosificadora 1	57423,6
Tolva Dosificadora 2	57423,6
Tolva Dosificadora 3	57423,6
Sección de tubería 1	26835.72
Sección de tubería 2	25514.75
Sección de tubería 3	33440.6
Total	258061.87

Fuente: propia, marzo del 2017.

De esta manera se obtienen los volúmenes y dimensiones asociados al sistema de transporte neumático y a partir de los cuales se definen las especificaciones de operación del mismo.

6.2 Cálculo de densidades aparentes, para sólidos impalpables

Uno de los parámetros necesarios, en el cálculo del grado de vacío requerido en el sistema neumático, es la densidad del material que se requiere transportar, para realizar el cálculo de dicha densidad (ρ), se realiza la relación entre la masa de un producto (m) y el volumen (v), que posee dicha cantidad de material, ecuación (9). Los datos requeridos para llevar a cabo este cálculo, se midieron experimentalmente para los tres productos más representativos de la empresa, categorizados como sólidos impalpables. Dichos valores se muestran a continuación (*ver Tabla 112*).

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (9)$$

Tabla 112 Densidades aparentes de sólidos impalpables.

Parámetro Producto	Masa [kg]	Volumen [m ³]	Densidad [kg/m ³]
Color	0.00792	1x10 ⁻⁵	792
Adobo 6 Aliños	0.00771	1x10 ⁻⁵	771
Adobo 7 hierbas	0.00467	1x10 ⁻⁵	467

Fuente: propia, marzo del 2017.

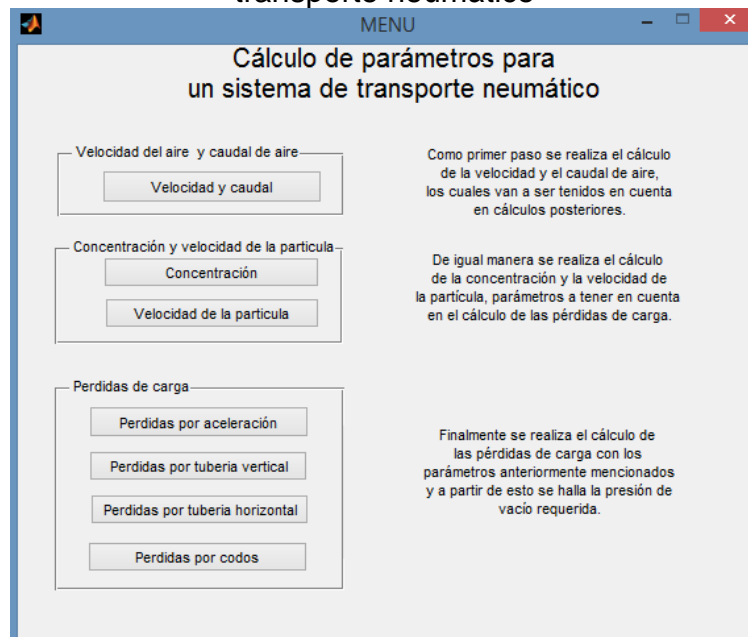
Teniendo en cuenta el material de mayor densidad, se lleva a cabo el cálculo de las pérdidas de presión asociadas al sistema neumático, para posteriormente obtener el nivel de vacío requerido en la línea de transporte.

6.3 Resultados de los cálculos sistematizados en Matlab, de las especificaciones de operación para la mejora de automatización.

Con el fin, de reducir la dificultad en la realización de los cálculos, para la obtención de los valores asociados a las especificaciones operativas de un sistema neumático, se realiza un interfaz hombre maquina en la herramienta Matlab [23], del procedimiento de diseño de dicho sistema [24] [25] [26] [27].

A continuación, se muestra el interfaz en la herramienta Matlab (*ver Figura 12*).

Figura 12 Menú del interfaz para el cálculo de parámetros de un sistema de transporte neumático



Fuente: propia, marzo del 2017.

Uno de los parámetros más importantes para asegurar un buen funcionamiento del sistema neumático, es la velocidad del aire de transporte. Este parámetro asegura un flujo continuo en la línea [24].

6.3.1 Velocidad mínima o velocidad final en la línea de transporte

De acuerdo, a los rangos de velocidad de transporte para diferentes tipos de material [25], el valor tomado fue de 15 m/s, velocidad que corresponde al rango de velocidad de transporte para polvos ligeros.

6.3.2 Velocidad de transporte a la entrada de la tubería

Para propósitos de diseño el valor de la velocidad de aire de entrada en la línea de transporte C1, se toma como la velocidad mínima de aire más un margen del 20%, dicho margen, es para permitir aumentos en el flujo del material y un factor de seguridad [24].

En la herramienta Matlab, se ingresa el valor de la velocidad mínima para obtener la velocidad de transporte (ver Figura 13)

Figura 13 Obtención de la velocidad del flujo de transporte en la tubería.

Velocidad de transporte a la entrada de la tubería (C1)

$$C_1 = 1,2 \cdot C_{min}$$

Ingrese el valor de la velocidad mínima (Cmin = Vf)

15 m/s

18 m/s

Calcular la velocidad de transporte (C1=Va)

Fuente: propia, marzo del 2017.

6.3.3 Caudal del sistema neumático

El caudal es uno de los parámetros principales para la elección del elemento que genera el flujo de vacío, para realizar este cálculo, se tiene en cuenta el diámetro de la tubería medida en campo, que fue de 0.048 m. En Matlab se ingresa el valor hallado y se obtiene el caudal (ver Figura 14)

Figura 14 Obtención del caudal de aire en la tubería.

Caudal de aire

$$Q = V_a \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Ingrese el diámetro de la tubería (d) m

m³/s

Fuente: propia, marzo del 2017.

6.3.4 Concentración

Para calcular la concentración se tuvo en cuenta el requerimiento del cliente, respecto al flujo másico para el transporte de sólidos impalpables, dicho valor es de 6 kg/min que equivalen a 0.1 Kg/s, con este dato se obtiene el peso específico del material (G_s), que es igual a 0.1 Kg F /s (ver Figura 15).

Figura 15 Obtención de la concentración.

Concentración

$$\mu = \frac{G_s}{G_a}$$

Peso específico del aire de transporte a 20°C (r_a) Kg^f/m³

Peso del aire de transporte (G_a) Kg^f/s
 $G_a = r_a \cdot Q$

Ingrese el peso del sólido a transportar (G_s) Kg^f/s

(Adimensional)

Fuente: propia, marzo del 2017.

Debido a que la concentración es menor a 15, el sistema se encuentra en fase diluida según lo dicho en [25].

6.3.5 Velocidad de la partícula

Para el cálculo de la velocidad de la partícula (ver Figura 16), es importante tener en cuenta 2 parámetros: el diámetro de la partícula y el peso específico del material, dichos valores son 0.178 mm y 792 Kg/m³.

Figura 16 Obtención de la velocidad de la partícula.

Velocidad de la partícula

$$V_s = V_a \cdot (1 - 0,008 \cdot d_s^{0,3} \cdot \gamma_s^{0,5})$$

Va = Velocidad del aire (m/s)

Ingrese el diametro de la partícula (ds) m

Ingrese el peso específico del material (rs) Kg*/m^3

m/s

Fuente: propia, marzo del 2017.

6.3.6 Pérdidas por aceleración

A partir de los cálculos previos, de velocidad y concentración, se procede a calcular las pérdidas por aceleración del sistema (ver Figura 17)

Figura 17 Obtención de las pérdidas por aceleración

Perdidas de carga por aceleración

$$\Delta P_{ac} = \gamma_a \cdot \frac{V_a^2}{2 \cdot g} \cdot \left(1 + 2 \cdot \mu \cdot \frac{V_s}{V_a}\right)$$

ra = Peso específico del aire a 20°C Kg*/m^3

Va = Velocidad del aire (m/s^2)

g= gravedad en santander de quilichao m/s^2

u = concentración (adimensional)

Vs = Velocidad de la partícula (m/s^2)

mmH2O

Fuente: propia, marzo del 2017.

6.3.7 Pérdidas de carga en tuberías verticales

A partir, de los valores previos se calcula el valor de las perdidas verticales. Para esto, se tiene en cuenta la sección más larga de la tubería, al igual que la distancia de sus tramos verticales. La suma dichos tramos es de 2.74 m, este valor se ingresa a la interfaz para realizar el cálculo de estas pérdidas (ver Figura 18).

Figura 18 Obtención de las pérdidas de carga en tuberías verticales.

Perdidas en tuberías verticales

$$\Delta P_V = \mu \cdot \gamma_a \cdot g \cdot L_V \cdot \frac{V_a}{V_s}$$

u = concentración (adimensional)

ra = Peso específico del aire a 20°C 1.205 Kg*/m^3

g= gravedad en santander de quilichao 9.79 m/s^2

Ingrese la longitud de la tubería vertical (LV) 2.74 m

Va = Velocidad del aire (m/s^2)

Vs = Velocidad de la partícula (m/s^2)

 83.7694 mmH2O

Fuente: propia, marzo del 2017.

6.3.8 Pérdidas de carga en tuberías horizontales

Para este cálculo se tiene en cuenta múltiples parámetros tales como:

Factor de fricción del aire

Este parámetro se calcula a partir de valores previos, como la velocidad de la partícula y diámetro de la tubería. Por otra parte, se calculan el número de Reynolds a partir de la viscosidad cinemática del aire y la rugosidad relativa del material (ver Figura 19).

Figura 19 Obtención del factor de fricción del aire.

Cálculo del factor de fricción del aire

$$Re = \frac{1,325}{\left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3,7 \cdot d} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

ε Rugosidad del material m
 d = diámetro de la tubería (m)
 Número de Reynolds

$$Re = \frac{Va \cdot d}{\nu}$$

Va = Velocidad del aire (m/s²) m²/s
 ν = Viscosidad cinemática del aire a 20°C

Adimensional
 Adimensional

Fuente: propia, marzo del 2017.

Factor de fricción de la partícula

Este factor, se calcula a partir del número de Froude de la partícula y del aire (ver *Figura 20*), parámetros adimensionales que relacionan el efecto de las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido.

Figura 20 Obtención del factor de fricción de la partícula.

Factor de fricción de la partícula

$$f_s = 2.1 \cdot f_{rs}^{0.5} \cdot \frac{(d/ds)^{0.1}}{\mu^{0.3} \cdot fra}$$

f_{rs} : número de Froude para la partícula fra : número de Froude para el aire

$$f_{rs} = \frac{Vf^2}{g \cdot ds}$$

$$fra = \frac{Va^2}{g \cdot d}$$

C_{min} = Vf : velocidad mínima o velocidad final
 g = gravedad en santander de quilichao
 ds = diámetro de la partícula
 d : Diámetro de la tubería
 Va : velocidad de transporte

Adimensional
 Adimensional
 Adimensional

Fuente: propia, marzo del 2017.

Luego de obtener el factor de fricción del aire y de la partícula, se ingresa el valor de la longitud de la tubería horizontal perteneciente a la sección 3, con estos parámetros, se obtiene el cálculo de las pérdidas en la tubería horizontal (ver Figura 21)

Figura 21 Obtención de las pérdidas por tubería horizontal

Perdidas por tubería horizontal

$$\Delta P_H = \gamma_a \cdot \frac{V_a^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{L_H}{D} \cdot (f_a + \mu \cdot f_s)$$

ra = Peso específico del aire a 20°C 1.205 Kg*/m³
 g= gravedad en santander de quilichao 9.79 m/s²
 Ingrese la longitud de la tubería horizontal (LH) 12.92 m
 Va = Velocidad del aire (m/s²)
 D = Diametro de la tubería (m/s²)

$$f_a = \frac{1.325}{\left[\ln \left(\frac{1}{3.7} \cdot 0.00045 + \frac{5.74}{178803^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f_s = 2.1 \cdot frs^{0.5} \cdot \frac{(d/ds)^{0.1}}{\mu^{0.3} \cdot fra}$$

 1186.68 mmH2O

Fuente: propia, marzo del 2017.

6.3.9 Pérdidas en codos

Para este cálculo, se ingresa el número de codos asociados a la sección de la tubería en cuestión y la constante asociada al tipo de codo, cuyos valores son 3 y 0.5 respectivamente (ver Figura 22)

Figura 22 Obtención de pérdidas por codos
Perdidas por codos

$$\Delta P_{\text{codo}} = N \cdot k_c \cdot (1 + \mu) \cdot \gamma_a \cdot \frac{V_a^2}{2 \cdot g}$$

Ingrese el número de codos en la tubería (N)

R _c /D _c	K _c
2	1.5
4	0.75
≥6	0.5

R_c: Radio del codo (m)
D_c=d : diametro de la tubería

Ingrese el factor según la tabla (K_c)

Calcular número pérdidas por codos (Deltacodo)

106.114

mmH2O

Fuente: propia, marzo del 2017.

6.3.10 Calculo de presión de vacío

Finalmente, se realiza el cálculo de la caída de presión a lo largo de la tubería con la ecuación (10), para esto suman las pérdidas parciales en la sección de tubería [25][26].

$$\text{Perdidas por aceleración} = \Delta P_{ac}$$

$$\text{Perdidas verticales} = \Delta P_v$$

$$\text{Perdidas horizontales} = \Delta P_H$$

$$\text{Perdidas por codos} = \Delta P_{\text{codos}}$$

$$\Delta P_{\text{linea}} = \Delta P_{ac} + \Delta P_v + \Delta P_H + \Delta P_{\text{codos}} \quad (10)$$

$$\Delta P_{\text{linea}} = 1496.392 \text{ mmH2O}$$

$$\Delta P_{\text{linea}} = 14673.994 \text{ Pa}$$

Para hallar la presión de vacío se hace uso de la ecuación (11)

$$P_{\text{vacio}} = P_{\text{atmosferica}} - \Delta P_{\text{linea}} \quad (11)$$

Considerando que la presión atmosférica en Santander de Quilichao es de 89325.73 Pa, se tiene que:

$$P_{vacio} = 74651.14 \text{ Pa}$$

$$P_{vacio} = 746.51 \text{ mbar}$$

Anexo G

7 Evaluación del desempeño de las tecnologías de vacío

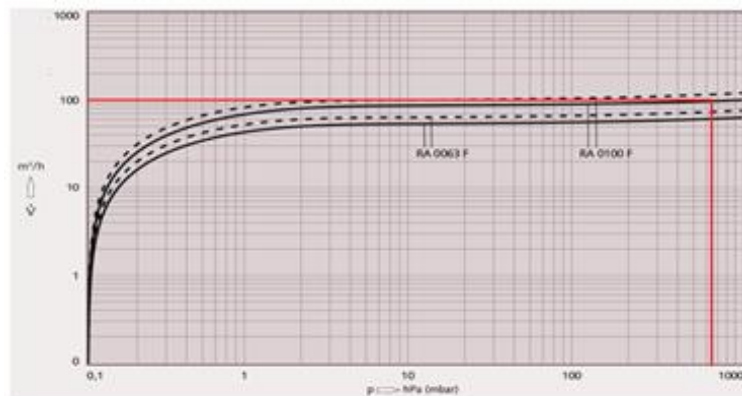
7.1 Verificación del rango de las maquinas

Para llevar a cabo, la selección del equipo generador de vacío del sistema de transporte neumático, se realizó la verificación de las especificaciones de operación halladas en la sección 6.3, para equipos disponibles a nivel comercial. Dicha verificación se hizo a partir de las curvas de desempeño de los fabricantes de cada equipo [28] [29], evaluando en ellas el punto de operación definido requerido en el sistema, cuya presión de vacío es 746.51 mbar y cuyo caudal es de $117 \text{ m}^3/\text{h}$. De igual forma, la presión de vacío puede ser medida, tomando como punto de referencia la presión atmosférica, obteniendo así un valor negativo de -146.7473 mbar.

7.1.1 Líneas independientes

En cuanto, a la verificación de los dispositivos para el esquema de líneas independientes, se evaluaron 9 máquinas, con el fin de seleccionar la que se adecuara de mejor manera a los requerimientos. A continuación, se presenta las características técnicas asociadas a cada una de ellas, respecto al punto de operación requerido.

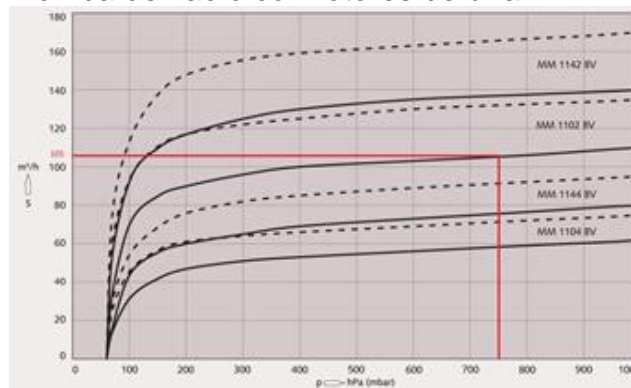
Figura 23 Bomba de vacío de paletas rotativas R5 RA 0063/0100 F.



Datos técnicos			R 5 RA 0063 F	R 5 RA 0100 F
Caudal nominal	m ³ /h	60 Hz	76	120
Vacío límite	hPa (mbar)	60 Hz	0,1	0,1
Potencia nominal del motor	kW	60 Hz	2,4	3,4
Velocidad nominal de rotación	min ⁻¹	60 Hz	1800	1800
Nivel sonoro (ISO 2151)	dB(A)	60 Hz	67	68
Capacidad de aceite	l	60 Hz	2	2
Peso aproximado	kg		55	73
Dimensiones (L x W x H)	mm		627 x 406 x 290	701 x 406 x 290
Aspiración / escape			G 1 1/4" / G 1 1/4"	G 1 1/4" / G 1 1/4"

Fuente: tomada de [28], junio del 2017.

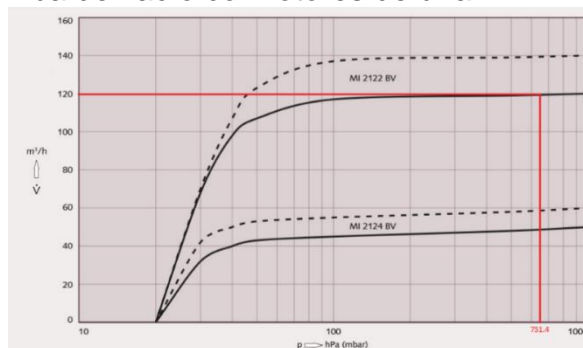
Figura 24 Bomba de vacío con rotores de uña Mink MM 1102BV.



Datos técnicos			Mink MM 1104 BV	Mink MM 1144 BV	Mink MM 1102 BV
Caudal nominal	m ³ /h	60 Hz	75	95	135
Vacío límite	hPa (mbar)	60 Hz	60	60	60
Potencia nominal del motor	kW	60 Hz	1,7	2,4	3,4
Velocidad nominal de rotación	min ⁻¹	60 Hz	1800	1800	3600
Nivel sonoro (ISO 2151)	dB(A)	60 Hz	70	70	79
Peso aproximado	kg	60 Hz	180	185	180
Dimensiones (L x W x H)	mm	60 Hz	970 x 430 x 410	970 x 430 x 410	1010 x 430 x 410
Aspiración / escape			G 1 1/4" / G 1"	G 1 1/4" / G 1"	G 1 1/4" / R 1"

Fuente: tomada de [28], junio del 2017.

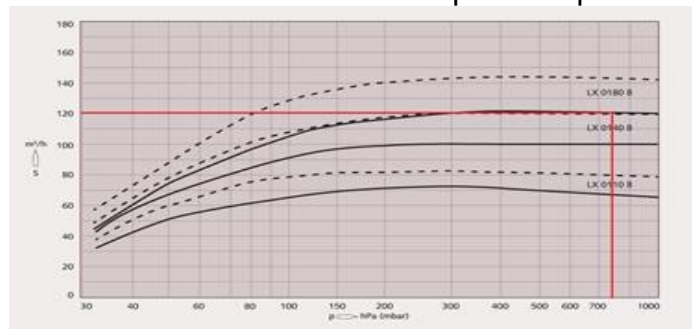
Figura 25 Bomba de vacío con rotores de uña Mink MI 2122 BV.



Datos técnicos		Mink MI 2124 BV		Mink MI 2122 BV
Caudal nominal	m ³ /h	60 Hz	60	140
Vacio limite	hPa (mbar)	60 Hz	20	20
Potencia nominal del motor	kW	60 Hz	2,4	6,8
Velocidad nominal de rotación	min ⁻¹	60 Hz	1800	3600
Nivel sonoro (ISO 2151)	dB(A)	60 Hz	77	84
Peso aproximado	kg	60 Hz	135	145
Dimensiones (L x W x H)	mm	60 Hz	940 x 415 x 370	970 x 430 x 370
Aspiración / escape		60 Hz	G 1 1/4" / G 1"	G 1 1/4" / G 1"

Fuente: tomada de [28], junio del 2017.

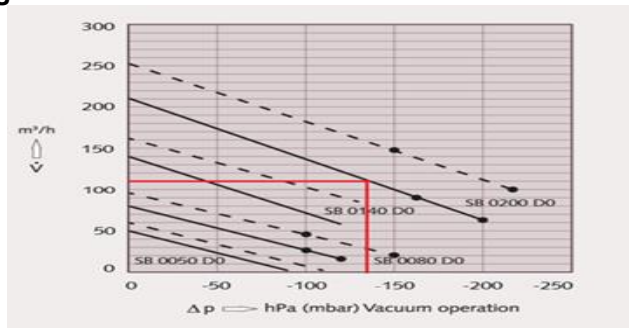
Figura 26 Bomba de vacío de anillo líquido Dolphin LX 0140 B.



Datos técnicos		Dolphin LX 0110 B		Dolphin LX 0140 B	Dolphin LX 0180 B
Caudal nominal	m ³ /h	60 Hz	83	120	144
Vacio limite	hPa (mbar)	60 Hz	33	33	33
Potencia nominal del motor	kW	60 Hz	3,0	4,0	5,5
Velocidad nominal de rotación	min ⁻¹	60 Hz	1800	1800	1800
Nivel sonoro (ISO 2151)	dB(A)	60 Hz	70	70	70
Peso aproximado	kg	60 Hz	58	70	78
Dimensiones (L x W x H)	mm	60 Hz	517 x 330 x 345	544 x 330 x 364	564 x 330 x 364
Aspiración / escape		60 Hz	DN 40 / DN 40	DN 40 / DN 40	DN 40 / DN 40

Fuente: tomada de [28], junio del 2017.

Figura 27 Blower de canal lateral Samos SB 0140 DO.

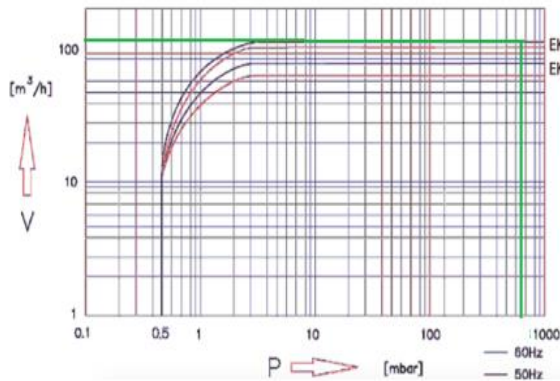


Datos técnicos		Samos SB 0050 D0	Samos SB 0080 D0	Samos SB 0140 D0	Samos SB 0200 D0	
Flujo volumétrico	m ³ /h	60 Hz	60	100	175	250
Presión diferencial máxima en versión vacío	hPa (mbar)	60 Hz	120	100 - 150	130	190 - 210
Presión diferencial máxima en versión presión	hPa (mbar)	60 Hz	120	100 - 160	130	140 - 210
Potencia nominal del motor	kW	60 Hz	0,23	0,3 - 0,5	0,8	1,5 - 2,1
Velocidad nominal de rotación	min ⁻¹	60 Hz	3450	3450	3450	3450
Nivel sonoro (ISO 2151)	dB(A)	60 Hz	53	56	64	70
Peso aproximado	kg		7	8 - 10	13	20 - 21
Dimensiones (L x W x H)	mm		259 x 248 x 250	259 x 248 x 250	272 x 287 x 305	317 x 336 x 340
Aspiración / escape			G 1 1/4" / G 1 1/4"	G 1 1/4" / G 1 1/4"	G 2" / G 2"	

Fuente: tomada de [28], junio del 2017.

Figura 28 Bomba de vacío de paletas lubricadas EKL 0200.

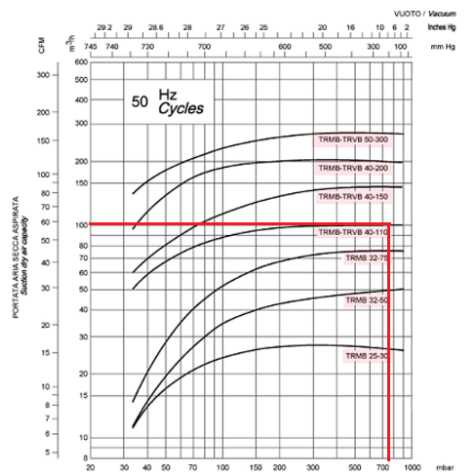
EKL - 130 & 200
Performance Curve



Models		130	200	
Displacement	60Hz	78	120	
	50Hz	65	100	
End- Vacuum	F Type	< 0.5	< 0.5	
	60Hz	2.2	3	
Motor (3Ph)	IEC(kw)	50Hz	1.5	2.2
	NEMA(hp)	60Hz	3	5
Revolution	60Hz	1740	1740	
	RPM	50Hz	1450	1450
Noise	60Hz	68	68	
	dB(A)	50Hz	65	65
Operating Temp.	°c	85°c	85°c	
Oil Capacity	Ltr	2.5	2.7	
Connections	G(BSP) or NPT	Intake	1-1/4"	1-1/4"
		Exhaust	1-1/4"	1-1/4"
Weight	kg (w ith motor)	66	75	

Fuente: tomada de [29], junio del 2017.

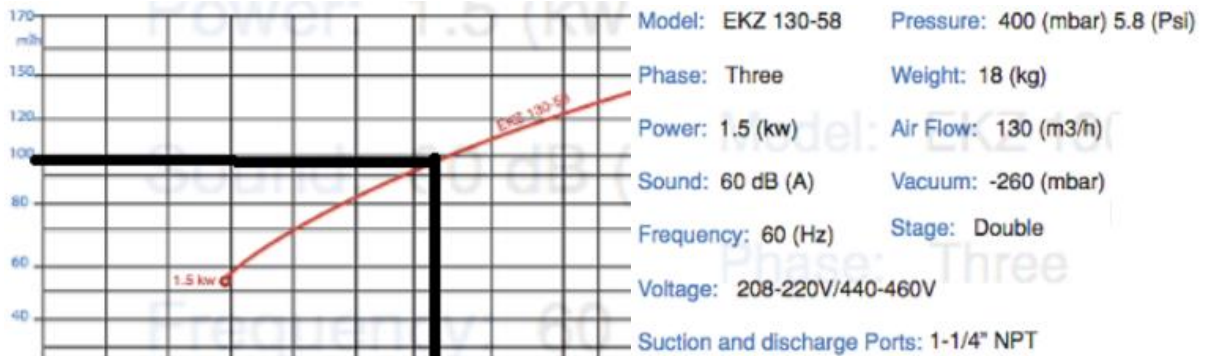
Figura 29 Bomba de vacío de anillo líquido Monoblock TRMB TRVB 40-110.



BOMBAS TIPO	Nivel sonoro L _p (L _w) dB(A)	Nivel de vibraciones clase	Peso en eje Monobloc Directo (mot. a 50Hz) kg	Peso en eje Monobloc Directo (mot. a 60Hz) Kg	Velocidad de giro RPM		Potencia instalada kW		Tamaño del Motor eléctrico	
					50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz
TRMB 25-30	65 (75)	V1	17	18	2900	3500	0,75	1,1	80 A	80 B
TRMX 257	64 (74)		27	27			1,5	2,2	90 S	90 L
TRMB 32-50	69 (79)		24	26	3	4	100 LB	112 M		
TRMB 32-75	70 (80)		37	42						
TRMX 327	70 (80)		39	45	4	5,5	112 M	132 SB		
TRMB 40-110	68 (79)		66	71						
TRMX 403	68 (79)		69		5,5	7,5	132 SB	132 MA		
TRMB 40-150	69 (80)		76	106						
TRMX 405	69 (80)		74		7,5	---	132 MA	---		
TRMB 40-200	72 (84)		103	111						
TRMX 407	72 (84)		110							
TRMB 50-300				126	---					

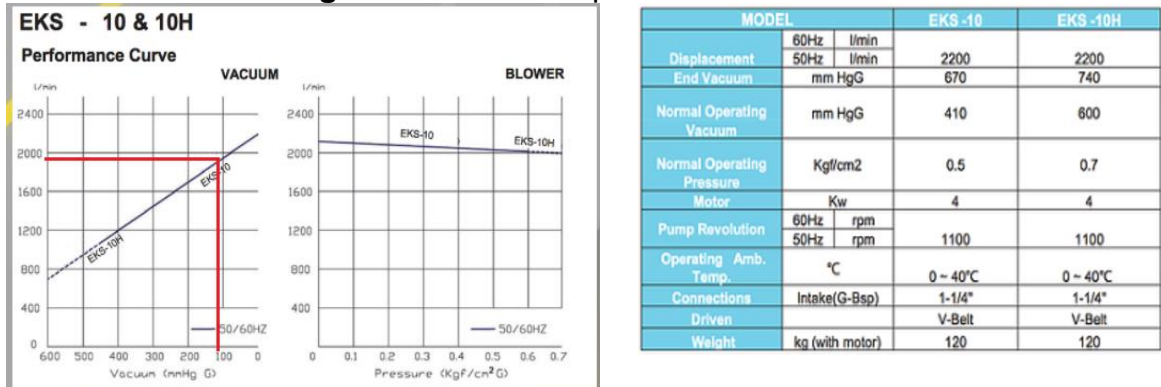
Fuente: tomada de [29], junio del 2017.

Figura 30 Blower regenerativo EKZ 130-58.



Fuente: tomada de [29], junio del 2017.

Figura 31 Blower de paletas secas EKS 10.

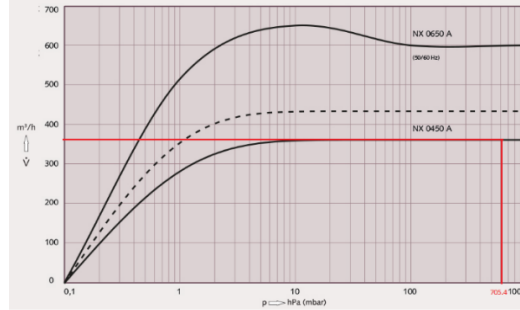


Fuente: tomada de [29], junio del 2017.

7.1.2 Sistema centralizado

En cuanto, a la verificación de los dispositivos para el esquema centralizado, se evaluaron 7 máquinas, con el fin de seleccionar la que se adecuara de mejor manera a los requerimientos. A continuación, se presenta las características técnicas asociadas a cada una de ellas, respecto al punto de operación requerido.

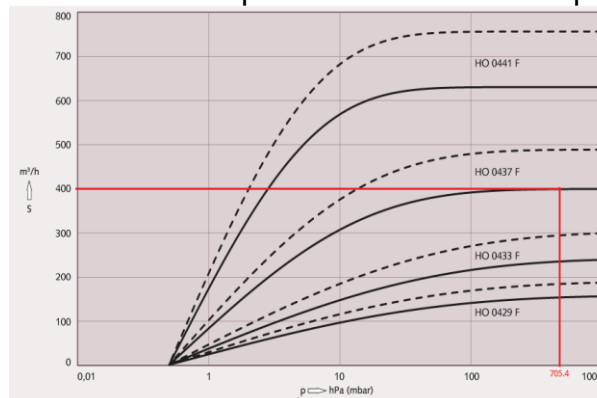
Figura 32 Bomba de vacío de tornillo Cobra NX 0450 A



Datos técnicos		COBRA NX 0450 A	COBRA NX 0650 A
Nominal pumping speed	m ³ /h	420	650
Ultimate pressure	hPa (mbar)	≤ 0,1	≤ 0,1
Nominal motor rating	kW	60 Hz: 9,5	17,0
Nominal motor speed	min ⁻¹	60 Hz: 3600	3600
Noise level (ISO 2151)	dB(A)	60 Hz: 70	75
Weight approx.	kg	500	700
Dimensiones (L x W x H)	mm	1321 x 490 x 951	1521 x 524 x 623
Gas inlet		G 3" / ISO-F DN 100	G 3" / ISO-F DN 100
Gas outlet		G 2" / ISO-F DN 100	G 3" / ISO-F DN 100

Fuente: tomada de [28] ,junio del 2017.

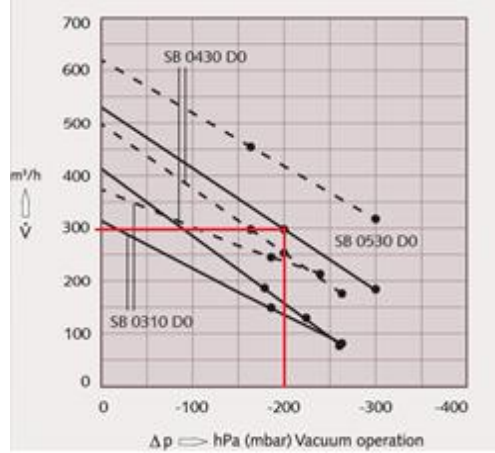
Figura 33 Bomba de vacío de paletas rotativas Huckepack HO0437F



Datos técnicos		Huckepack HO 0429 F	Huckepack HO 0433 F	Huckepack HO 0437 F	Huckepack HO 0441 F
Caudal nominal	m ³ /h	60 Hz: 190	300	480	760
Vacío límite	hPa (mbar)	60 Hz: 0,5	0,5	0,5	0,5
Potencia nominal del motor	kW	60 Hz: 7,5	9,2	15,0	18,5
Velocidad nominal de rotación	min ⁻¹	60 Hz: 1800	1800	1200	1200
Nivel sonoro (ISO 2151)	dB(A)	60 Hz: 72	73	73	74
Peso aproximado	kg	380	420	920	980
Dimensiones (L x W x H)	mm	1320 x 740 x 1160	1320 x 740 x 1160	1640 x 990 x 1240	1640 x 990 x 1240
Aspiración / escape		DN 80 / DN 50	DN 80 / DN 50	DN 80 / DN 80	DN 80 / DN 80

Fuente: tomada de [28] ,junio del 2017.

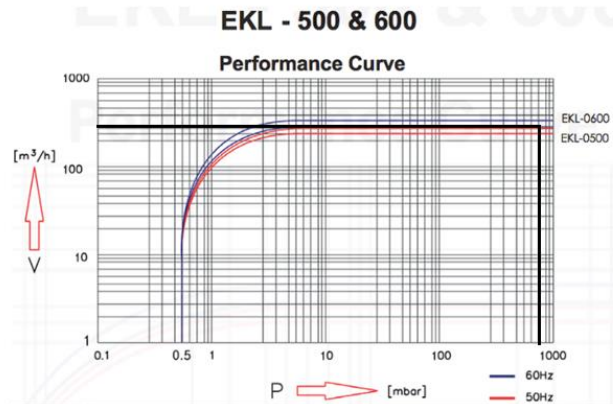
Figura 34 Blower de canal lateral Samos SB0530DO.



Datos técnicos			Samos SB 0310 DO	Samos SB 0430 DO	Samos SB 0530 DO
Flujo volumétrico	m ³ /h	60 Hz	375	500	620
Presión diferencial máxima para vacío	hPa (mbar)	60 Hz	190 - 240	160 - 260	160 - 300
Presión diferencial máxima para sobrepresión	hPa (mbar)	60 Hz	190 - 230	150 - 260	160 - 280
Potencia nominal del motor	kW	60 Hz	2,6 - 3,5	2,6 - 4,6	4,6 - 6,3
Velocidad nominal de rotación	min ⁻¹	60 Hz	3450	3450	3450
Nivel sonoro (ISO 2151)	dB(A)	60 Hz	72	73	74
Peso aprox.	kg		29 - 31	29 - 40	112 - 114
Dimensiones (L x W x H)	mm		411 x 383 x 386	443 x 383 x 386	496 x 500 x 516
Aspiración/ escape de gas			G 2" / G 2"	G 2" / G 2"	G 2 1/2" / G 2 1/2"

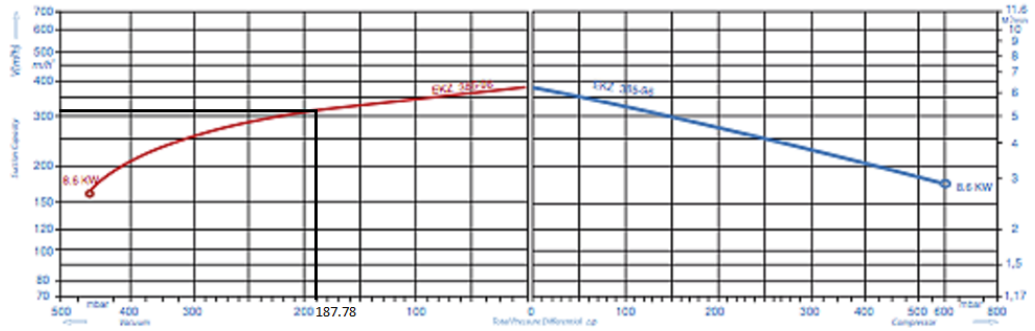
Fuente: tomada de [28], junio del 2017.

Figura 35 Bomba de vacío de paletas lubricadas EKL500.



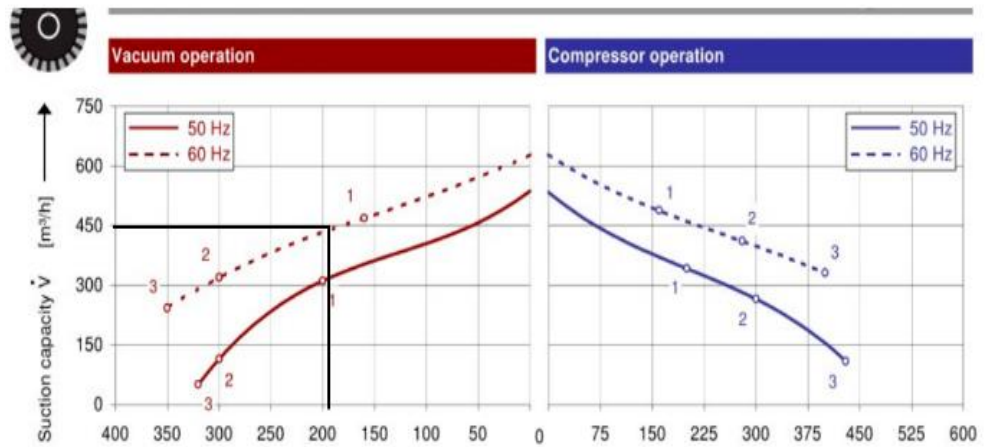
Fuente: tomada de [29], junio del 2017.

Figura 36 Blower regenerativo EKZ620-114.



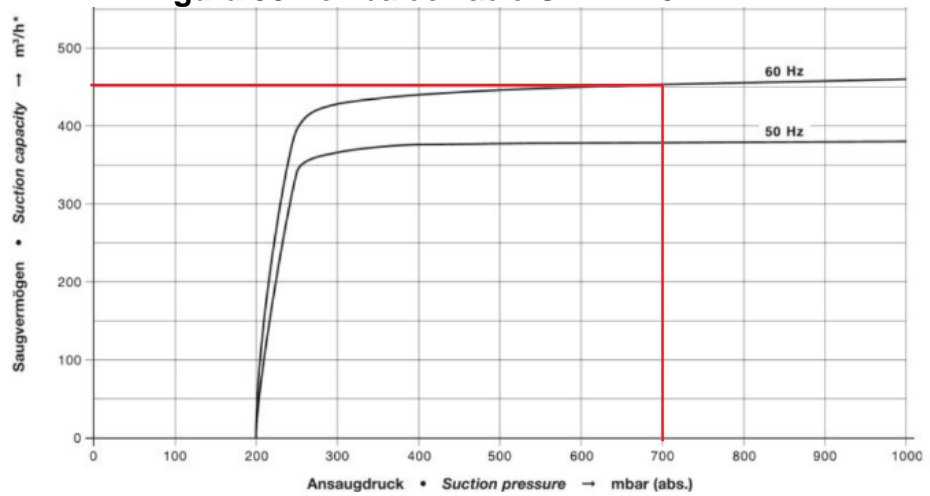
Fuente: tomada de [29], junio del 2017.

Figura 37 Blower de canal lateral 2BH1800-7AH07.



Fuente: tomada de [30], junio del 2017.

Figura 38 Bomba de vacío C-VLR 401.



Fuente: tomada de [30], junio del 2017.

Anexo H

8 Modelos ISA-S88.01 de PROFASOI, con la mejora de automatización propuesta.

Con el fin, de documentar la propuesta de mejora planteada, se especifican los modelos ISA respecto a los activos físicos, la ejecución de tareas y la definición resultante del proceso. A partir, de esto se muestra la modificación del proceso en los aspectos mencionados, al implementar la mejora de automatización.

8.1 Modelo proceso del PROFASOI, con la mejora de automatización propuesta.

Este modelo permite categorizar de manera jerárquica el proceso productivo a partir de la aplicación de 4 clasificaciones definidas. Proceso (nivel superior que contiene las estaciones de proceso), etapas de proceso (generalmente operan de manera independiente proporcionan cambios físicos y químicos al material procesado), operaciones de proceso (actividades principales conformadas por tareas menores) y acciones de proceso (actividades de procesamiento menor que se combinan para formar las operaciones de proceso) [1]. En el PROFASOI con la mejora propuesta, se identifican 6 etapas, 18 operaciones y 22 acciones (ve *Tabla 113*).

Tabla 113. Modelo de proceso del PROFASOI propuesta de mejoramiento.

PROCESO	ETAPAS DE PROCESO	OPERACIONES DE PROCESO	ACCIONES DE PROCESO
	Obtención de material Triturado	Dosificado de materia prima	Ingreso de materia prima y aditivos
			Descarga materia prima y aditivos
		Pulverizado de materia prima	Triturado de materia prima y aditivos
	Homogeneizado de material triturado	Separación de material triturado	División de material triturado del aire
		Mezclado de material triturado	Mezclado de material triturado
	Obtención de polvo	Transporte de material triturado homogeneizado	Transporte de material triturado homogeneizado
		Molienda de material triturado homogeneizado	Molido de material triturado homogeneizado

	Ventilación de polvo	Transporte de polvo	Transporte de polvo
		Mezclado de polvo	Mezclado de polvo
	Transporte de productos	Dosificado de polvo ventilado 1	Ingreso manual de polvo ventilado 1
		Dosificado de polvo ventilado 2	Ingreso manual de polvo ventilado 2
		Dosificado de polvo ventilado 3	Ingreso manual de polvo ventilado 3
		Transporte de polvo ventilado 1	Transporte de polvo ventilado 1
		Transporte de polvo ventilado 2	Transporte de polvo ventilado 2
		Transporte de polvo ventilado 2	Transporte de polvo ventilado 1
	Empacado de polvo ventilado	Dosificado de la empaquetadora 1	Ingreso de polvo ventilado 1
			Descarga de polvo ventilado 1
		Dosificado de la empaquetadora 2	Ingreso de polvo ventilado 1
			Descarga de polvo ventilado 1
		Dosificado de la empaquetadora 3	Ingreso de polvo ventilado 1
			Descarga de polvo ventilado 1
	Empaquetado de polvo	Sellado del paquete	

Fuente: propia, julio del 2017

8.2 Modelo físico del PROFASOI con la mejora de automatización propuesta.

Este modelo contiene 7 niveles, donde 3 pertenecen a alta gerencia y los 4 restantes se enfocan en la planta de producción, con la anterior clasificación el modelo físico de PROFASOI se realiza de la siguiente manera: A nivel de Empresa está El Cocinerito, ubicada en la ciudad de Santander de Quilichao, Colombia; a nivel de sitio se encuentra la planta ubicada en el nororiente de Santander de Quilichao y a nivel de Área está la sección de producción donde se lleva a cabo el proceso ; estos tres (3) niveles referentes a la alta gerencia no son presentados en el diagrama pero deben ser tenidos en cuenta. Continuando con el PROFASOI con la mejora

propuesta, se tiene una célula de proceso conformada por 6 unidades, 13 módulos de equipo y 20 módulos de control (ver Tabla 114).

Tabla 114 Modelo físico del PROFASOI, con mejora propuesta.

CÉLULA DE PROCESO	UNIDAD	MÓDULO DE EQUIPO	MÓDULO DE CONTROL		
PRODUCCIÓN DE SÓLIDOS IMPALPABLES	Pulverizado	Dosificador 1	Operario 1		
			Tolva dosificadora 1		
		Motor 1 (MT1)			
	Homogeneización	Moedor 1	Molino de martillos		
		Separador	Ciclón		
		Mezclador 1	Agitador Ribbon	Blender 1	Motor 2 (MT2)
	Molienda	Transportador 1	Operario 1		
			Recipiente de almacenamiento 1		
		Moedor 2	Molino de discos		Motor 3 (MT3)
			Operario 1		
	Mezcla	Transportador 2	Operario 1		
			Recipiente de almacenamiento 2		
			Cuchara de chapa 1		
		Mezclador 2	Agitador Ribbon	Blender 2	Motor 4 (MT4)
	Transporte neumático	Transportador 3	Blower regenerativo 1		
		Transportador 4	Blower regenerativo 2		
		Transportador 5	Blower regenerativo 3		
	Empacado	Dosificador 2	Tolva dosificadora 2		
			Tolva dosificadora 3		
			Tolva dosificadora 4		
Empaquetadora		Empaquetadora		Motor 5 (MT5)	
		Empaquetadora		Motor 6 (MT6)	
		Empaquetadora		Motor 7 (MT7)	
		Empaquetadora		Motor 8 (MT8)	
Empaquetadora		Motor 9 (MT9)			
Empaquetadora		Motor 10 (MT10)			

Fuente: propia, julio del 2017.

Debido a que los productos pertenecientes a la línea de granos no presentan procesamiento, es decir que de almacenamiento pasan directamente al área de empaclado. Por esta razón no se realizan modelos para dicha línea. De igual manera en la ejecución del empaclado están involucrados múltiples motores trifásicos los cuales poseen la siguiente nomenclatura: Motor 11 (MT11), Motor 12 (MT12), Motor (MT13) y Motor (MT14), cuyas especificaciones se plantean en el Anexo A.

8.3 Modelo de control de procedimiento del PROFASOI, con la mejora propuesta.

El modelo de control de procedimiento de PROFASOI con la mejora propuesta, cuenta con el procedimiento “producción de sólidos impalpables”, el cual está conformado por 6 procedimientos de unidad, 18 operaciones y 22 fases (ver Tabla 115).

Tabla 115 Modelo de control de procedimientos del PROFASOI con la mejora propuesta.

PROCEDIMIENTO	PROCEDIMIENTO DE UNIDAD	OPERACIÓN	FASE
PRODUCCIÓN DE SÓLIDOS IMPALPABLES	Obtención de material triturado	Dosificar materia prima	Ingresar 150 Kg de materia prima y aditivos durante 10 min
			Descargar 150 Kg de materia prima y aditivos
		Pulverizar materia prima	Triturar materia prima y aditivos por un tiempo de 25 a 31 minutos
	Homogeneización de material triturado	Separar material triturado	Separar material triturado del aire durante 5 minutos
		Mezclar material triturado	Mezclar material triturado por un tiempo de 5 a 8 minutos
	Obtención de polvo	Transportar material triturado homogeneizado	Transportar material triturado homogeneizado por un tiempo de 2 minutos
		Moler material triturado homogeneizado	Moler material triturado homogeneizado de 20 a 35 minutos
	Ventilar polvo	Transportar polvo	Transportar polvo por un tiempo de 5 minutos
		Mezclar polvo	Mezclar polvo por un tiempo de 10 a 15 minutos
	Transportar polvo	Dosificar polvo ventilado 1	Dosificar polvo ventilado 1

		Dosificar polvo ventilado 2	Dosificar polvo ventilado 2	
		Dosificar polvo ventilado 3	Dosificar polvo ventilado 3	
		Transportar polvo ventilado 1	Transportar polvo ventilado 1	
		Transportar polvo ventilado 2	Transportar polvo ventilado 2	
		Transportar polvo ventilado 3	Transportar polvo ventilado 3	
	Empacar polvo	Dosificar empaquetadora 1	Ingresar polvo ventilado 1	
			Descargar polvo ventilado 1	
		Dosificar empaquetadora 2	Ingresar polvo ventilado 2	
			Descargar polvo ventilado 2	
		Dosificar empaquetadora 3	Ingresar polvo ventilado 3	
			Descargar polvo ventilado 3	
		Empaquetar polvo ventilado	sellar paquete	



Fuente: propia, julio del 2017.

Anexo I

9 Consideraciones generales, para la simulación del proceso en SuperPro Designer.

El software SuperPro Designer, fabricado por la compañía Intelligen Inc, este software facilita el modelado, evaluación y optimización de procesos integrados para una amplia gama de industrias [31]. La Universidad del Cauca cuenta con múltiples licencias académicas de este software, las cuales fueron obtenidas en el desarrollo de un proyecto de regalías de la Facultad de Ciencias Agrarias. Esta herramienta de simulación, ha sido utilizada en múltiples ocasiones para llevar a cabo la validación de soluciones de automatización, en el programa de ingeniería en automática industrial [32] [33].

Para la simulación de la secuencia del proceso en SuperPro Designer, es necesaria la configuración de distintos aspectos relacionados a las condiciones reales del proceso, tales como: flujos de entrada y salida, equipos, materiales y tareas ejecutadas. A continuación, se describen los pasos generales para realizar la simulación del proceso en la herramienta computacional [33] [34].

- a) Para crear un nuevo proyecto se ejecuta la herramienta y se selecciona el modo de operación (Batch ó Continuo).
- b) Registrar los materiales involucrados en el proceso, para esto se selecciona (**Task, pure components,register-edit**), se busca y registra el componente requerido, en caso de no encontrarse se debe crear y asignar sus propiedades.
- c) Definir los procedimientos de unidad (equipos), ir a la barra de herramientas (**Unit Procedures**) y buscar el equipo requerido para la simulación. Es importante verificar que los procedimientos de unidad tengan disponibles las operaciones que se relacionan con los modelos ISA S-88.1
- d) Configurar las operaciones de cada procedimiento de unidad
- e) Dibujar las corrientes de entrada, intermedias y de salida () para interconectar los equipos, de manera que se asemeje a un diagrama de flujo de proceso.
- f) Inicializar las corrientes de entrada: se especifica el material(es) con su respectiva cantidad, el cual va a circular por cada corriente.
- g) Agregar y configurar las operaciones de cada procedimiento de unidad.
- h) Definición de la potencia de los equipos del proceso y sus tiempos de funcionamiento
- i) Una vez realizados correctamente los pasos anteriores, se compila el programa haciendo click en el icono (). Si hay errores de compilación, el

software los muestra en la parte inferior. Una vez corregidos la herramienta, permite generar gráficos que representan el funcionamiento de la planta, como tiempos de ocupación de equipos, operarios, entre otros.

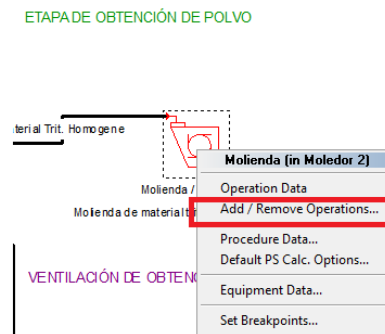
9.1 Asignación de las operaciones de los equipos del proceso.

Teniendo en cuenta la relación que existe entre las fases y las operaciones, se lleva a cabo la asignación de cada una de las fases establecidas en el modelo de control procedimental, asociadas a los dispositivos físicos que se definieron en el PFD.

Para asignar las operaciones a cada uno de los procedimientos de unidad (equipos) se realiza lo siguiente [35]:

- Click derecho sobre el procedimiento de unidad (equipo) y posteriormente clic en **Add/remove Operations** (ver Figura 39).

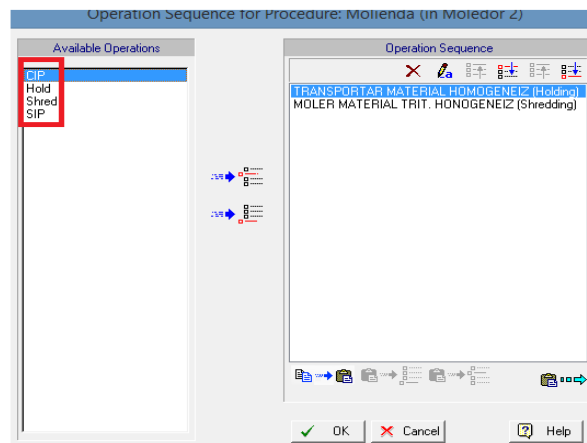
Figura 39 Asignación de las operaciones.



Fuente: propia, agosto del 2017.

- Posteriormente se asignan las operaciones según requiera el proceso y la disponibilidad del equipo (ver Figura 40).

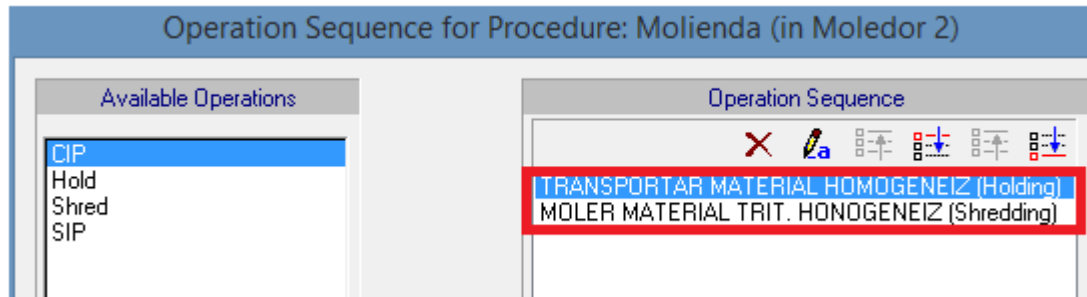
Figura 40 Operaciones disponibles para el molino de discos.



Fuente: propia, agosto del 2017.

Como se muestra anteriormente hay disponible 4 operaciones para el molino de discos. Según la operación que se requiera, se asigna el nombre correspondiente a las fases del modelo de control procedimental (ver Figura 41).

Figura 41 Relación de las operaciones con las fases del modelo de control de procedimientos.

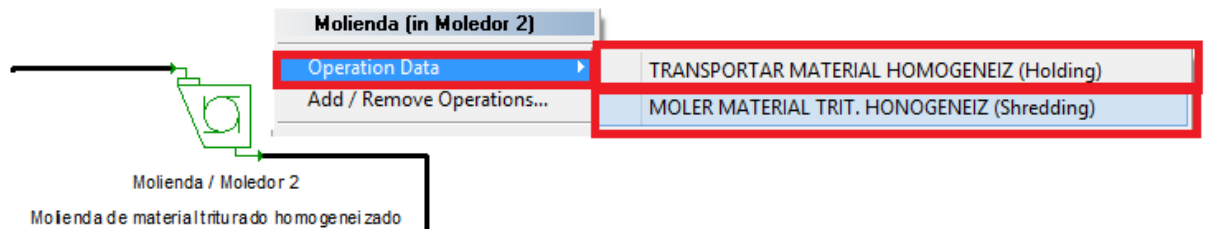


Fuente: propia, agosto del 2017.

9.2 Configuración de las operaciones de los equipos del proceso.

Como se muestra en la siguiente grafica (ver Figura 42), se asignan 2 operaciones, las cuales son: moler material al equipo de molienda y transportar material homogeneizado.

Figura 42 Configuración de la operación moler material, al molino de discos



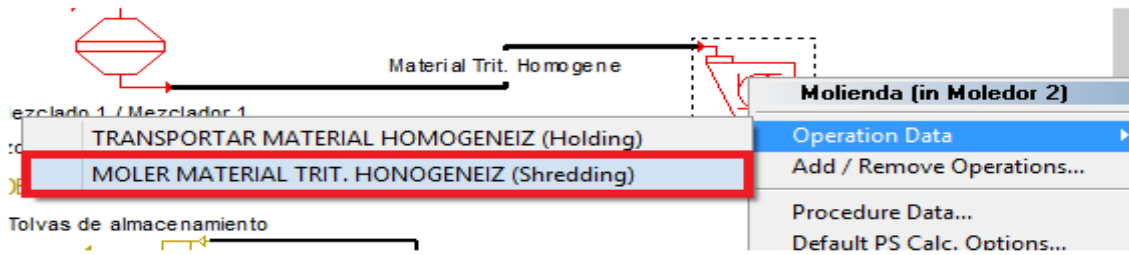
Fuente: propia, agosto 2017.

El procedimiento anterior se realiza de la misma manera para todos los procedimientos de unidad que se hallan definido.

9.3 Configuración de la potencia nominal, para los equipos del proceso.

Para llevar a cabo, la cuantificación del consumo energético de cada equipo del proceso, se requiere configurar los parámetros de potencia nominal y tiempo de operación, de cada dispositivo que compone la secuencia del proceso [34]. Para esto se debe dar click derecho en cada equipo que consume energía eléctrica y posteriormente seleccionar la operación asociada a la actividad que consume energía (ver Figura 43).

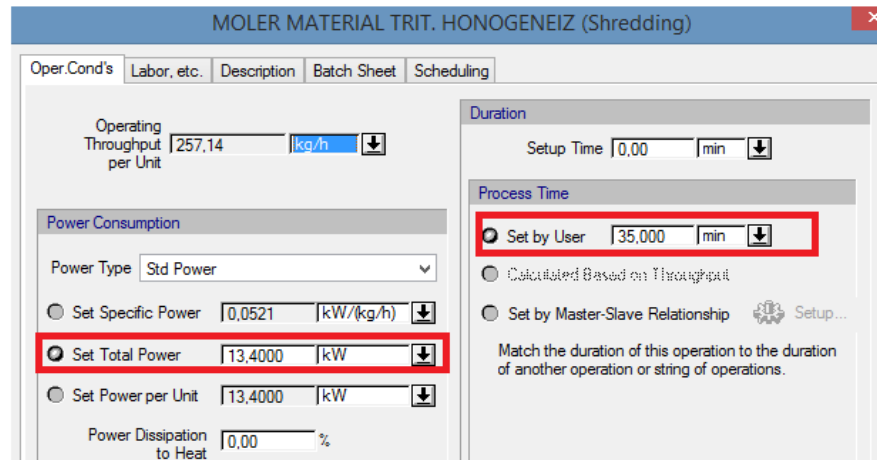
Figura 43 Configuración de la operación asociada a la actividad que consume energía eléctrica



Fuente: propia, agosto 2017.

Después de lo anterior, se configura la potencia y el tiempo de operación para cada equipo. En este caso, se configura el molino de discos (ver Figura 44).

Figura 44 Configuración de la potencia nominal y tiempo de operación, para el molino de discos.



Fuente: propia, agosto 2017.

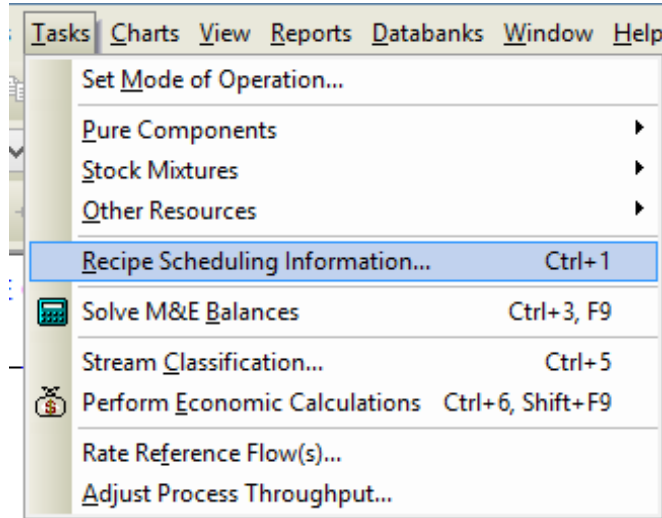
Con lo anterior, se configuran los parámetros para estimar la energía eléctrica consumida, por los equipos asociados al proceso productivo. Finalmente se configura el periodo de tiempo para el cual se desea estimar el consumo, esto se describe en el siguiente ítem.

9.4 Configuración del período de tiempo, para la estimación del consumo energético.

En la definición, del período de tiempo a partir del cual se lleva a cabo la estimación del consumo energético del proceso, se debe ejecutar el siguiente procedimiento:

- Acceder a la barra de herramienta Task y luego seleccionar Recipe Scheduling Information (ver Figura 45).

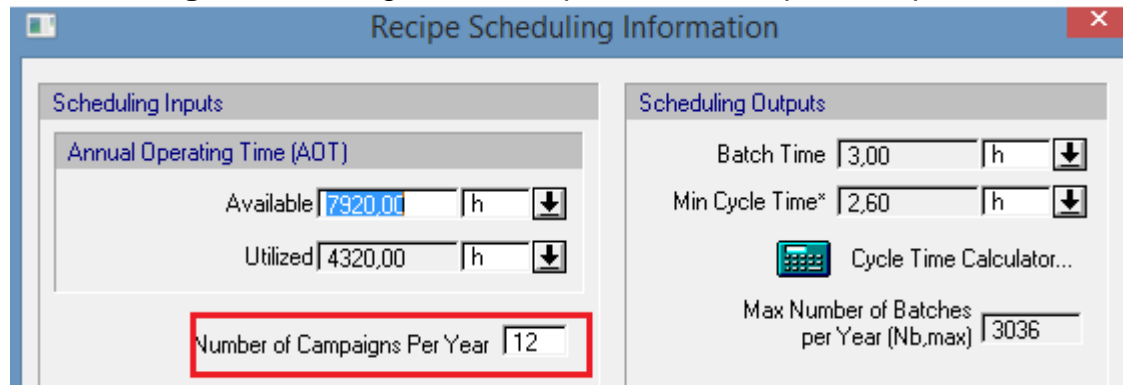
Figura 45 Acceso a los parámetros de la receta.



Fuente: propia, agosto del 2017.

- Se despliega la ventana de información de la receta (ver Figura 46), y para el parámetro **Number of campaigns Per Year**, se configuran 12 campaigns que corresponden a 12 meses de un año.

Figura 46 Configuración del periodo de tiempo en SuperPro.



Fuente: propia, agosto del 2017.

De esta manera, se configura el número de campañas que constituyen un año y por consiguiente se le asigna a cada campaña el valor de un mes. El cuál es el período de tiempo para cual se requiere estimar el consumo de energía del proceso.

Anexo J

10 Anexo digital

Se encuentra toda la información asociada a archivos digitales

10.1 Cálculos de caudal y presión en matlab

Sistematización_calculos_Matlab.

10.2 Simulación del circuito neumático en sketchup

Proceso_Google_Sketchup

10.3 Fotos de facturas de consumo.

Recibos_El_Cocinerito

10.4 Cotización del elemento suministrador de vacío asociado a la propuesta de automatización.

Cotización_El_Cocinerito

10.5 Simulación de PROFASOI con mejora y sin mejora, en SuperPro Designer.

Simulación_Proceso

Bibliografía

- [1] ANSI-ISA, "Batch control - Part 1: Models and terminology," 1995.
- [2] E. Martínez, "Propuesta de escalamiento industrial del proceso de extrusión para películas biodegradables bajo el marco del proyecto 'investigación y desarrollo de empaques biodegradables,'" Tesis de pregrado, Universidad del Cauca, 2015.
- [3] R. O. Muñoz and B. D. L. Guevara, "Propuesta de Escalamiento Industrial del Proceso de Extrusión de Espumados Biodegradables bajo el Marco del Proyecto 'Investigación y Desarrollo de Empaques Biodegradables,'" Tesis de pregrado, Universidad del Cauca, 2017.
- [4] M. Ortiz-gallego, S. Yepes-zuluaga, J. Alvarez-salazar, and M. V. J. Ardila-marín, "Modelo de predicción del consumo eléctrico para la industria Electric consumption prediction model for industry," *Agron. Colomb.*, vol. 34, pp. 48–50, 2016.
- [5] J. M. Caicedo Cuchimba and V. Tobar Escobar, "Modelo de estudio y análisis de la eficiencia energética para el sector industrial en Colombia, aplicado a un caso de estudio en una empresa del sector del plástico," Tesis de pregrado, Universidad del Cauca, 2016.
- [6] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba, and M. Mattsson, "Systematic mapping studies in software engineering," *EASE'08 Proc. 12th Int. Conf. Eval. Assess. Softw. Eng.*, pp. 68–77, 2008.
- [7] Y. Vargas and L. Bolaños, "Propuesta Técnica y Financiera para la Creación de una Microcentral de Generación de Energía Eléctrica a partir de Gas Natural," Tesis de pregrado, Universidad del Cauca, 2015.
- [8] N. Pouransari, M. Mercier, G. N. Sauvion, and F. Maréchal, "A general methodology for energy efficiency of industrial chemical processes," *Comput. Aided Chem. Eng.*, vol. 34, pp. 411–416, 2014.
- [9] P. Brito, P. Lopes, P. Reis, and O. Alves, "Simulation and optimization of energy consumption in cold storage chambers from the horticultural industry," *Int. J. Energy Environ. Eng.*, vol. 5, no. 2–3, pp. 1–15, 2014.
- [10] R. Hackl and S. Harvey, "Framework methodology for increased energy efficiency and renewable feedstock integration in industrial clusters," *Appl. Energy*, vol. 112, pp. 1500–1509, 2013.
- [11] N. Tanasi, G. Jankes, M. Stameni, A. Nikoli, M. Trnini, and T. Simonovi, "Potentials for reducing primary energy consumption through energy audit in the packaging paper factory," *3rd Int. Symp. Environ. Friendly Energies Appl. EFEA 2014*, pp. 2–6, 2014.
- [12] M. Stameni, G. Jankes, N. Tanasi, M. Trnini, and T. Simonovi, "Energy audit as a tool for improving overall energy efficiency in Serbian industrial

- sector,” *2nd Int. Symp. Environ. Friendly Energies Appl. EFEA 2012*, vol. 1, pp. 118–122, 2012.
- [13] E. Giacone and S. Mancò, “Energy efficiency measurement in industrial processes,” *Energy*, vol. 38, no. 1, pp. 331–345, 2012.
- [14] F. Silva, W. Freire, and M. Pilatasig, “Energy efficiency in the milling process of dehydrated products , using hammer mill,” *IEE*, vol. 1, 2016.
- [15] J. Janutėnienė and T. Lenkauskas, “Energy saving in industrial processes using modern data acquisition systems,” *IEE*, vol. 1, pp. 124–126, 2012.
- [16] C. G. Toomey, “Pneumatic Conveying System Optimization,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 50, no. 6, pp. 4319–4323, 2014.
- [17] C. D. Pitis and Z. A. Al-Chalabi, “Novel method of benchmarking energetic efficiency of industrial systems,” *9th Annu. IEEE Int. Syst. Conf. SysCon 2015 - Proc.*, pp. 359–364, 2015.
- [18] E. A. Abdelaziz, R. Saidur, and S. Mekhilef, “A review on energy saving strategies in industrial sector,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 1, pp. 150–168, 2011.
- [19] K. O’Rielly and J. Jeswiet, “Strategies to improve industrial energy efficiency,” *Procedia CIRP*, vol. 15, pp. 325–330, 2014.
- [20] N. Aughney and G. E. O’Donnell, “The energy saving opportunity in targeting non-value added manufacturing activities - A structured approach,” *J. Clean. Prod.*, vol. 86, pp. 191–200, 2015.
- [21] D. Velázquez, R. González-Falcón, L. Pérez-Lombard, L. Marina Gallego, I. Monedero, and F. Biscarri, “Development of an energy management system for a naphtha reforming plant: A data mining approach,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 67, pp. 217–225, 2013.
- [22] M. U. Uluer, H. O. Unver, G. Gok, N. Fescioglu-Unver, and S. E. Kilic, “A framework for energy reduction in manufacturing process chains (E-MPC) and a case study from the Turkish household appliance industry,” *J. Clean. Prod.*, vol. 112, pp. 3342–3360, 2016.
- [23] J. pablo Vega and C. eduardo Araque, “Diseño y construcción de sistema de transporte neumático mixto de dos etapas para cereales,” Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander, 2009.
- [24] D. Mills, *Pneumatic Conveying Design Guide*, 3rd ed. Australia: Elsevier Ltd, 2016.
- [25] R. M. Ursula Acuña, “Diseño de un sistema de transporte neumático para Quinoa,” Tesis de pregrado, Pontificia universidad Católica del Perú, 2006.
- [26] P. Walper, “Transporte neumático de alimento peletizado,” Tesis de pregrado, Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2011.

- [27] S. Keys and Chambers, "Scaling pneumatic conveying characteristics for pipeline pressureite," in *National Conference on Bulk Materials Handling: Preprints, Institution of Engineers, Australia*, 1993, p. 205.
- [28] BUSCH, "Bombas y Sistemas de Vacío." [Online]. Available: <https://www.buschvacuum.com/co/es>. [Accessed: 01-Jun-2017].
- [29] SAE, "Soluciones Avanzadas de Energía-SAE Ltda." [Online]. Available: <https://www.presionyvacio.com/product-page/sopladorr-eks-80-100?gclid=CPja0fuirNQCFcZAhgodUI4BNw>. [Accessed: 01-Jun-2017].
- [30] G. Denver, "Elmo Rietschle." [Online]. Available: <http://www.gd-elmorietschle.com/products>. [Accessed: 01-Jun-2017].
- [31] I. Intelligen, "Intelligen." [Online]. Available: <http://www.intelligen.com>.
- [32] L. C. Eraso and S. M. Campaña, "Diseño de un proceso de obtención de aceite de pescado a nivel industrial en el marco del proyecto de regalías ID VRI 3883 – SGR," Tesis de pregrado, Universidad del Cauca, 2017.
- [33] R. O. Muñoz and B. D. L. Guevara, "Propuesta de Escalamiento Industrial del Proceso de Extrusión de Espumados Biodegradables bajo el Marco del Proyecto 'Investigación y Desarrollo de Empaques Biodegradables,'" Tesis de Pregrado, Universidad del Cauca, 2017.
- [34] Intelligent, "SuperPro Designer User Guide," no. 908. Morse Avenue -Scotch Plains, NJ 07076- USA, p. 506.
- [35] José Gregorio Rivero Yusti, "SUPER PRO DESIGNER PARTE1." [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=yca9fXXZVrM&t=3s>. [Accessed: 12-Aug-2017].