

**Propuesta de Escalamiento Industrial del Proceso de Extrusión de
Espumados Biodegradables bajo el Marco del Proyecto “Investigación y
Desarrollo de Empaques Biodegradables”**

Anexos



Universidad
del Cauca

**Robinson Ordoñez Muñoz
Bernardo David Lara Guevara**

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Línea de Investigación en Automatización
Popayán, enero de 2017

**Propuesta de Escalamiento Industrial del Proceso de Extrusión de
Espumados Biodegradables bajo el Marco del Proyecto “Investigación y
Desarrollo de Empaques Biodegradables”**

Anexos



**Universidad
del Cauca**

**Robinson Ordoñez Muñoz
Bernardo David Lara Guevara**

Monografía presentada como requisito para optar al título de
Ingeniero En Automática Industrial

Director: Mg. Juan Fernando Flórez Marulanda

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Línea de Investigación en Automatización
Popayán, enero de 2017

Tabla de Contenido

	Pág.
Tabla de Contenido	i
Lista de Figuras.....	v
Lista de Tablas.....	viii
Anexo A.....	1
1 Relación entre los modelos ISA-S88.01 para PROESBIPAY laboratorio	1
Anexo B.....	4
2 Diagnóstico de PROESBIPAY Laboratorio	4
2.1 Nivel de dificultad en la realización del proceso	4
2.1.1 Análisis de resultados para determinar la dificultad por fases y operaciones	5
2.1.2 Desarrollo estadístico de la dificultad	7
2.2 Nivel de automatización	8
2.2.1 Desarrollo estadístico del nivel de automatización de PROESBIPAY	10
2.3 Análisis de modelos ISA-S88.01	10
2.3.1 Análisis general del Modelo de Proceso.....	11
2.3.2 Análisis general del Modelo Físico	11
2.3.3 Análisis general del Modelo de Control Procedimental.....	12
2.4 Aspectos generales afines con las necesidades del proceso	12
2.4.1 Documentación.....	13
2.4.2 Necesidad en la automatización de fases de PROESBIPAY	14
2.4.3 Mantenimiento de Equipos de PROESBIPAY	15
Anexo C	17
3 Procedimiento de Escalamiento Industrial de Procesos Productivos (PEIPP)	17
3.1 Estudio del Proceso a Escala Menor.....	17
3.1.1 Esquematización y documentación	17
3.1.2 Cálculo de densidades aparentes.....	17
3.1.3 Estudio de mercado, unidad productiva.....	18
3.1.4 Primer estudio de factibilidad.....	18
3.2 Estudio del Proceso a Escala Mínimamente Aumentada.....	18
3.2.1 Estudio de variables principales de proceso.....	19
3.2.2 Rendimiento obtenido.....	19
3.2.3 Consumo energético y de materiales	19
3.2.4 Estudio del manejo de residuos.....	19
3.2.5 Segundo estudio de factibilidad.....	20

3.3	Establecimiento y Cálculo de Parámetros de Escalamiento	20
3.3.1	Cálculo de volúmenes de producción	20
3.3.2	Cálculo de factor de escalamiento.....	21
3.3.3	Modificación cuantificada de variables principales de proceso.....	21
3.4	Ajuste Comparativo Según Procesos que ya Operan Industrialmente.....	21
3.4.1	Organización de la información del proceso que ya opera industrialmente	22
3.4.2	Comparación de modelos ISA S88.01 del proceso en cuestión y del que ya opera industrialmente.....	22
3.5	Determinación de la planta física en la escala industrial	22
3.5.1	Escogencia de equipos.....	23
3.5.2	Distribución de la planta	23
3.6	Organización del escalamiento industrial logrado	23
3.6.1	Aspectos empresariales	23
3.6.2	Esquematización representativa de la escala industrial	24
3.6.3	Receta maestra y de control.....	24
Anexo D	26
4	Metodología de Manejo Integral de Residuos.....	26
4.1	Pasos de la Metodología para el Manejo Integral de Residuos	26
4.1.1	Clasificación según el tipo de residuos generados	26
4.1.2	Diagnóstico ambiental (etapas para el manejo de residuos)	28
4.1.3	Estrategias para el manejo integral de residuos	31
4.2	Aplicación de la Metodología para Manejo Adecuado de Residuos en PROESBIPAY a Nivel de Laboratorio	35
4.2.1	Clasificación de residuos en PROESBIPAY a nivel de laboratorio	35
4.2.2	Diagnóstico ambiental	35
4.2.3	Estrategias para el manejo integral de residuos.....	39
Anexo E	40
5	Dimensionamiento de PROESBIPAY a Escala de Planta Piloto	40
5.1	Análisis de Variables del Proceso Productivo PROESBIPAY	40
5.1.1	Operación de secado de almidón de yuca.....	41
5.1.2	Operación de extruido del compuesto 2	44
5.1.3	Operación de cortado de espumado biodegradable	50
5.2	Unidad Productiva para Operaciones de PROESBIPAY.....	52
5.2.1	Determinación de modos y tiempos de ejecución.....	52
5.2.2	Operación de empacado	56

5.2.3	Operación de extruido y cortado.....	58
5.2.4	Operación de mezclado.....	58
5.2.5	Operación de secado.....	59
5.2.6	Resumen flujos de alimentación y producción de PROESBIPAY planta piloto	60
5.3	Modificación Cuantificada de Variables Principales de PROESBIPAY	60
5.3.1	Operación de secado de almidón de yuca.....	61
5.3.2	Operación de extruido de compuesto	65
5.3.3	Operación de cortado de cordón de espumado biodegradable	68
Anexo F		70
6	Proceso Industrial Seleccionado para Comparación	70
6.1	Descripción del Proceso.....	70
6.1.1	Etapas de acopio de materia prima	70
6.1.2	Etapas de mezclado	71
6.1.3	Etapas de extrusión.....	71
6.1.4	Etapas de horneado	71
6.1.5	Etapas de sazonado.....	72
6.1.6	Etapas de empacado.....	73
6.1.7	Etapas de almacenamiento en bodega	73
6.2	Modelos ISA-S88 del Proceso de Producción de JuanShis	74
6.2.1	Modelo de proceso	74
Anexo G		76
7	Escogencia de Equipos para Procesos Productivos.....	76
7.1	Metodologías para la Selección de Equipos	76
7.1.1	Metodología basada en estudio de mercado.....	76
7.1.2	Metodología equipo-puntuación.....	78
7.2	Selección de Equipos para PROESBIPAY Planta Piloto.....	79
7.2.1	Secador	79
7.2.2	Mezclador	80
7.2.3	Extrusor	82
7.2.4	Empacadora	83
Anexo H		85
8	Manejo de la Herramienta SuperPro Designer	85
8.1	Inicio de Programa	86
8.2	Registro de Componentes.....	86
8.3	Construir la Hoja de Flujo (Flow Sheet).....	90

8.4	Inicializar Operaciones	95
8.4.1	Datos de operación (Operation Data)	96
8.4.2	Configuración acerca de requerimientos de mano de obra (Labor etc) 99	
8.4.3	Programación de la operación (Sheduling).....	99
8.5	Simular el Proceso y ver los Resultados	105
	Anexo Digital I	121
9	Método_CHOI_&_OKOS_Prop_Fisicas.....	121
	Anexo Digital J	121
10	Modelo_Matemático_Extrusor	121
	Anexo Digital K.....	121
11	Validación_BM_Modelos_Secador	121
	Anexo Digital L	121
12	Validación_BE_Modelos_Secador	121
	Anexo Digital M	121
13	Validación_Modelos_Extrusor	121
	Anexo Digital N.....	121
14	PROESBIPAY_PlantaPiloto	121
	Anexo Digital O	121
15	Modelo_CAD_Cortado	121
	Bibliografía	122

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Relación modelos ISA-S88.01 para las etapas de modificación de la humedad del almidón y acondicionamiento de la mezcla	2
Figura 2. Relación de los modelos ISA-S88.01 para las etapas: obtención del espumado biodegradable y acondicionamiento de las espumas	3
Figura 3. Porcentaje del nivel de dificultad de PROESBIPAY	7
Figura 4. Nivel de automatización mediante el segmento de proceso	9
Figura 5. Porcentaje del nivel de automatización de PROESBIPAY	10
Figura 6. Diagrama de proceso del procedimiento de escalamiento industrial de procesos productivos	25
Figura 7. Código de colores para los contenedores de residuos.....	32
Figura 8. Espumado biodegradable descartado.....	37
Figura 9. Equipo para caracterización de materiales	37
Figura 10. Circulación del aire del horno de convección forzada	41
Figura 11. Extrusor: Zonas, Etapas y Componentes.....	45
Figura 12. Métodos de Extrusión de Espumados.....	46
Figura 13. Perfil de velocidades en un extrusor	47
Figura 14. Notación representativa para el tornillo del extrusor	47
Figura 15. Tornillo cortado a lo largo de su eje Y desenrollado.....	49
Figura 16. Geometría del cordón espumado	51
Figura 17. Configuración geométrica del número de cuchillas en el cabezal	52
Figura 18. Primera aproximación del PFD de PROESBIPAY planta piloto	52
Figura 19. Segunda aproximación del PFD de PROESBIPAY planta piloto	56
Figura 20. Silo flexible en lona para pellets.....	57
Figura 21. Cámara interna del horno de convección forzada.....	62
Figura 22. Punto de operación del extrusor de PROESBIPAY laboratorio.....	66
Figura 23. Punto de operación del extrusor de PROESBIPAY planta piloto	67
Figura 24. Etapas de acopio, mezclado y extrusión de JuanShis	71
Figura 25. Etapa de horneado de JuanShis	72
Figura 26. Etapa de sazonado de JuanShis.....	72
Figura 27. Etapa de empacado de JuanShis	73
Figura 28. Etapa de almacenamiento en estibas de JuanShis.....	73
Figura 29. Caracterización en laboratorio de JuanShis.....	74
Figura 30. Selección del modo de operación	86
Figura 31. Modificación de las unidades de medición	86
Figura 32. Ejecución de la modificación de unidad	87
Figura 33. Ruta para agregar un componente.....	87
Figura 34. Cómo registrar un componente de simulación	88
Figura 35. Como añadir un nuevo componente	88
Figura 36. Añadir una mezcla como componente	89
Figura 37. Selección del componente	89

Figura 38. Cómo agregar propiedades a los componentes.....	90
Figura 39. Aceptar componentes	90
Figura 40. Cómo agregar un equipo a la simulación	91
Figura 41. Agregar un equipo de filtrado como equipo.....	91
Figura 42. Agregar las corrientes de proceso.....	92
Figura 43. Identificación de los flujos principales	92
Figura 44. Identificación de flujos principales mediante "ayuda"	93
Figura 45. Editar una corriente de flujo	93
Figura 46. Clasificación de una corriente de proceso.....	93
Figura 47. Agregar una operación.....	94
Figura 48. Registro de operaciones	94
Figura 49. Edición de una operación.....	94
Figura 50. Operaciones generales para un equipo de filtrado.....	95
Figura 51. Como verificar un modo de operación.....	95
Figura 52. Como agregar datos de operación	96
Figura 53. Selección de una corriente específica	96
Figura 54. Agregar parámetros a las condiciones de operación	97
Figura 55. Registro de una corriente específica	97
Figura 56. Configurar emisiones	98
Figura 57. Configuración de una corriente subsiguiente	98
Figura 58. Configuración de mano de obra	99
Figura 59. Configuración de tiempos en una operación	99
Figura 60. Configuración de la estequiometría en una reacción química	100
Figura 61. Configuración de la estructura en una reacción química.....	100
Figura 62. Parámetros para el progreso de una reacción	101
Figura 63. Configuración de la transferencia de salida	101
Figura 64. Procedimiento maestro y operación maestro	102
Figura 65. Configuración del filtro.....	103
Figura 66. Configuración del tiempo de inicio de una operación	103
Figura 67. Configuración de una operación subsiguiente	104
Figura 68. Registro de ingredientes	104
Figura 69. Configuración de la operación final	105
Figura 70. Simulación del proceso	105
Figura 71. Reporte de materiales y flujos de proceso	106
Figura 72. Configuración de la receta	106
Figura 73. Ingreso de parámetros a la receta.....	107
Figura 74. Seguimiento de las operaciones del proceso	107
Figura 75. Secuencia y tiempo de las diferentes operaciones	108
Figura 76. Secuencia de operación y tiempos de los equipos del proceso	108
Figura 77. Exportar diagramas a Excel	108
Figura 78. Visualización de la ocupación de los equipos	109
Figura 79. Visualización de dos lotes	109
Figura 80. Configurar visualización de más de dos lotes	109

Figura 81. Configuración de la escala de tiempos.....	110
Figura 82. Visualización de los tiempos de ocio en el proceso	110
Figura 83. Resumen de algunos parámetros basados en lotes	111
Figura 84. Diagrama para seguimientos de materias primas, consumo y otros..	111
Figura 85. Diagrama para seguimiento de la mano de obra	112
Figura 86. Configuración de suministros	112
Figura 87. Recursos de inventario.....	113
Figura 88. Configuración de algunas características del diagrama	113
Figura 89. Diagrama para seguimiento de inventario.....	114
Figura 90. Configuración para el seguimiento potencial de un lote	115
Figura 91. Algunas características del diagrama de seguimiento	115
Figura 92. Clasificación de corrientes de proceso e ingreso de costos.....	116
Figura 93. Costos asociados a equipos de proceso.....	116
Figura 94. Configuración de ajustes para generar reportes de costos	117
Figura 95. Inversión de capital para poner en marcha el proceso.....	117
Figura 96. Configuración de costos por operaciones	118
Figura 97. Ingreso de parámetros a nivel de proceso	118
Figura 98. Ruta para visualizar la estimación económica total.....	119
Figura 99. Vista de un resumen ejecutivo	119
Figura 100. Otros reportes que puede entregar la herramienta SuperPro Designer	120

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Convenciones para relacionar los ítems de los modelos ISA-S88.01	1
Tabla 2. Nivel de dificultad de PROESBIPAY: datos capturados	4
Tabla 3. Nivel de dificultad de las fases de PROESBIPAY	5
Tabla 4. Nivel de automatización de las fases de PROESBIPAY	9
Tabla 5. Respuestas sobre documentación de PROESBIPAY	13
Tabla 6. Necesidad de automatización de las fases de PROESBIPAY	14
Tabla 7. Respuestas sobre mantenimiento de equipos de PROESBIPAY	15
Tabla 8. Clasificación de residuos	26
Tabla 9. Agrupación de materiales según la clasificación de residuos	27
Tabla 10. Características de sitios de almacenamiento de residuos no peligrosos	29
Tabla 11. Actividades inherentes a la recolección interna de residuos	30
Tabla 12. Actividades inherentes a recolección y transporte externos a la empresa	30
Tabla 13. Rotulación de recipientes para manejo de residuos	33
Tabla 14. Técnicas de manejo de residuos	34
Tabla 15. Datos procesados en la caracterización del residuo	38
Tabla 16. Resultados de la caracterización de los residuos	38
Tabla 17. Modos de operación de PROESBIPAY planta piloto	54
Tabla 18. Distribución de tiempos de operación de PROESBIPAY planta piloto ..	54
Tabla 19. Distribución de tiempos de la operación de secado	55
Tabla 20. Distribución de tiempos de la operación de mezclado para un lote	55
Tabla 21. Unidad productiva para la operación de mezclado	59
Tabla 22. Unidad productiva por operaciones de PROESBIPAY planta piloto	60
Tabla 23. Requerimientos para la operación de secado en la planta piloto	61
Tabla 24. Propiedades físicas del aire y el almidón de yuca a 52.5 °C	61
Tabla 25. Dimensiones promedio de la cámara interna de un horno y de bandejas	62
Tabla 26. Requerimientos para el secador en la planta piloto	65
Tabla 27. Parámetros del extrusor de PROESBIPAY laboratorio	65
Tabla 28. Requerimientos para el extrusor de PROESBIPAY planta piloto	68
Tabla 29. Requerimientos para la cortadora de PROESBIPAY planta piloto	69
Tabla 30. Modelo de proceso del PPME	75
Tabla 31. Ejemplo de la cotización internacional del producto	76
Tabla 32. Puntaje de las cotizaciones del equipo secador	79
Tabla 33. Puntajes de las cotizaciones del equipo mezclador	81
Tabla 34. Puntajes para las cotizaciones del equipo extrusor	82
Tabla 35. Puntajes de las cotizaciones del equipo empacador	83

Anexo A

1 Relación entre los modelos ISA-S88.01 para PROESBIPAY laboratorio

Al haber desarrollado los modelos propuestos por ISA-S88.01, de control procedimental, físico y de proceso, se puede evidenciar la existencia de una relación que estos modelos guardan entre sí. Esta relación determina que las tareas presentadas en el modelo de control procedimental se ejecutan sobre las agrupaciones de equipos de procesamiento y control definidos en el modelo físico, proporcionando funcionalidad de procesamiento determinada en el modelo de proceso. Como se observa en la sección 2.3 de la monografía, los tres modelos desarrollados para PROESBIPAY en laboratorio presentan un color característico para cada nivel, esto con el propósito de mantener una convención necesaria para relacionar los tres modelos (ver Tabla 1).

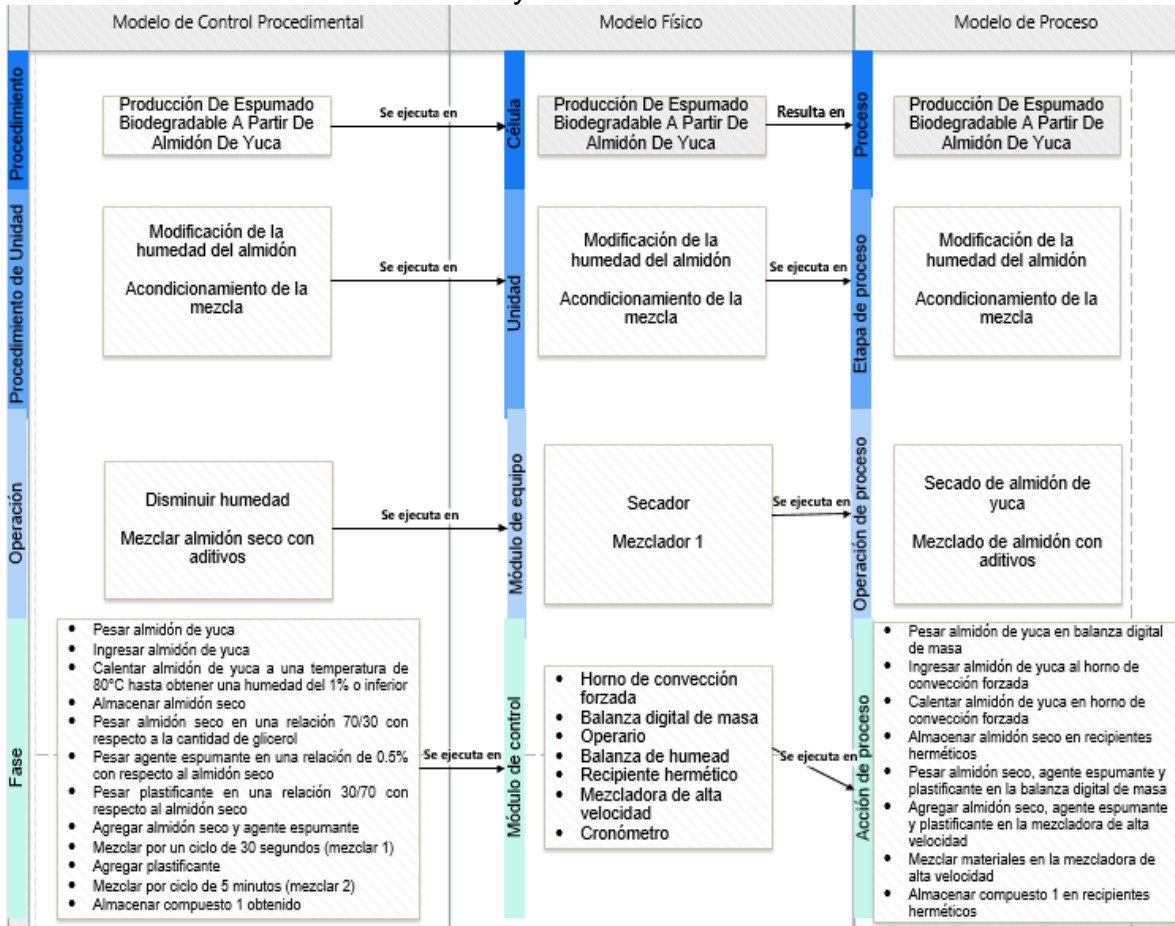
Tabla 1. Convenciones para relacionar los ítems de los modelos ISA-S88.01

Modelo de Control Procedimental	Modelo Físico	Modelo de Proceso	Color
Procedimiento	Célula del proceso	Proceso	
Procedimiento de unidad	Unidad	Etapas de proceso	
Operación	Módulo de equipo	Operación de proceso	
Fase	Módulo de control	Acción de proceso	

Fuente: Propia, junio de 2016

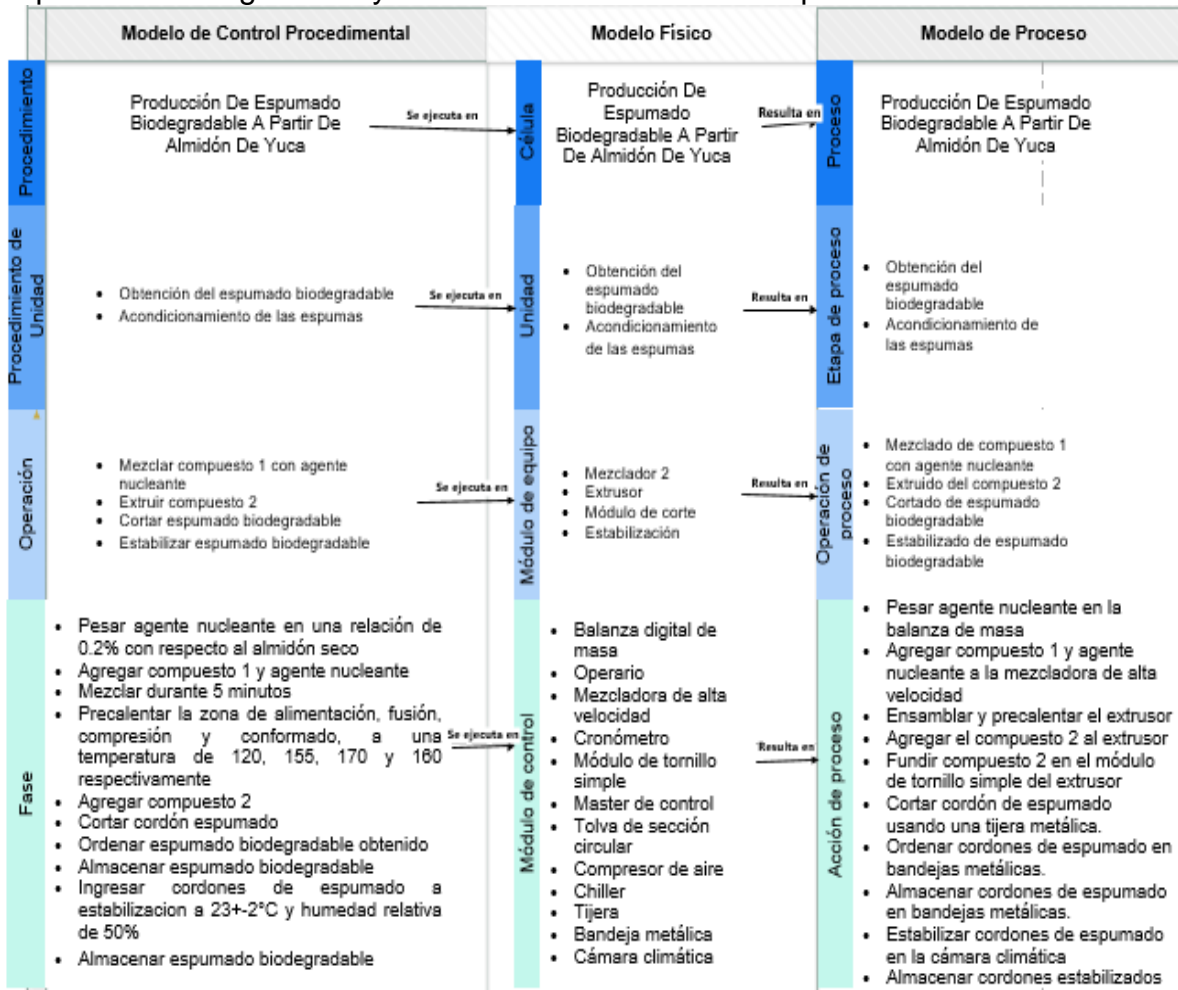
A continuación se muestra la relación entre los modelos del laboratorio de PROESBIPAY, en la *Figura 1* se muestran las relaciones de los modelos ISA-S88.01 para las etapas de modificación de la humedad del almidón y acondicionamiento de la mezcla, mientras que en la *Figura 2* se representa la relación entre los modelos de las etapas de obtención del espumado biodegradable y acondicionamiento de las espumas.

Figura 1. Relación modelos ISA-S88.01 para las etapas de modificación de la humedad del almidón y acondicionamiento de la mezcla



Fuente: Propia, junio de 2016.

Figura 2. Relación de los modelos ISA-S88.01 para las etapas: obtención del espumado biodegradable y acondicionamiento de las espumas



Fuente: Propia, junio de 2016.

Anexo B

2 Diagnóstico de PROESBIPAY Laboratorio

En este anexo se presentan los pasos desarrollados para llevar a cabo el diagnóstico de PROESBIPAY a nivel de laboratorio. Los pasos que se desarrollan son: establecer el nivel de dificultad en cada fase del proceso, nivel de automatización en cada una de las fases del proceso, análisis de modelos ISA-S88.01 del proceso y finalmente, se estudian las necesidades del proceso en cuanto a documentación, automatización y mantenimiento de equipos.

2.1 Nivel de dificultad en la realización del proceso

Para determinar el nivel de dificultad de las actividades de PROESBIPAY se sigue una estrategia que se ha venido mejorando desde trabajos anteriores [1,2]. Esta consiste en una encuesta que califica cualitativamente con los valores: Bajo (B), Medio (M) y Alto (A), la dificultad del proceso siguiendo tres criterios que definen el esfuerzo físico (E. Físico), el nivel de conocimiento (Conoc) y el riesgo que se presenta (Riesgo) al realizar cada una de sus fases (Tabla 2).

La encuesta se realizó a 4 investigadores, de los cuales solo dos están a cargo del PROESBIPAY; mientras que los demás se encargan del proceso de obtención de películas biodegradables; sin embargo, las tareas que se realizan en ambos procesos son muy similares y por tal razón se tiene en cuenta su valoración de la dificultad para las fases del PROESBIPAY.

Tabla 2. Nivel de dificultad de PROESBIPAY: datos capturados

Procedimiento de Unidad.	Fase.	Nivel de dificultad.								
		E. Físico			Conoc			Riesgo		
		B	M	A	B	M	A	B	M	A
Modificar Humedad de Almidón	Pesar Almidón.	4			1	3		4		
	Ingresar Almidón.	4			3	1		3	1	
	Calentar.	4			1	3		2	2	
	Almacenar Almidón Seco.	4			3	1		4		
Acondicionar La Mezcla	Pesar Plastificante.	4			0	4		4		
	Pesar Agente Espumante.	4			0	4		4		
	Pesar Almidón Seco.	4			0	4		4		
	Agregar Almidón Seco y Agente Espumante.	4			3	1		4		
	Mezclar.	4			2	2		4		
	Agregar Plastificante.	4			3	1		4		
	Mezclar.	4			2	2		4		
Almacenar Compuesto 1.	4			3	1		4			
	Pesar Agente Nucleante.	4			0	4		4		

Obtener Espumado Biodegradable	Agregar Compuesto 1 y Agente Nucleante.	4			3	1		4		
	Mezclar.	4			2	2		3	1	
	Precalear.	2		2	0	2	2	2		2
	Agregar Compuesto 2.	1	3		0	3	1	0	1	3
	Fundir.	4			4	0		0	2	2
	Cortar Cordón Espumado.	1	3		4	0		0		4
	Ordenar.	4			4	0		4		
	Almacenar.	4			4	0		4		
Acondicionar Las Espumas	Ingresar Cordones.	4			0	3	1	4		
	Almacenar.	4			4	0		4		

Fuente: Propia, junio de 2016

La recolección de información acerca de la dificultad de PROESBIPAY evidencia que para el concepto de “esfuerzo físico” presente en el desarrollo de las fases del proceso, se recogieron 84 respuestas que lo consideran bajo, 6 como medio y 2 como alto. En cuanto al conocimiento requerido para realizar cada fase del proceso, 46 respuestas lo ubican en un nivel bajo, 42 en medio y 4 en alto. Por último, los riesgos presentes a lo largo del proceso se consideraron bajos con un total de 74 respuestas; sin embargo, existen riesgos de nivel medio con 7 respuestas y de nivel alto con 11.

2.1.1 Análisis de resultados para determinar la dificultad por fases y operaciones

Para tener una visión más clara del nivel de dificultad de PROESBIPAY, se llevaron los resultados a un único valor en cada criterio de dificultad (*Tabla 3*); esto se realizó mediante la ponderación de las respuestas capturadas, asignando un peso a cada ítem (1 para bajo, 3 para medio y 5 para alto) y promediando.

Tabla 3. Nivel de dificultad de las fases de PROESBIPAY

Procedimiento de Unidad.	Fase.	Nivel de dificultad.		
		E. Físico	Conocimiento	Riesgo
Modificar Humedad de Almidón.	Pesar Almidón.	Bajo	Medio	Bajo
	Ingresar Almidón.	Bajo	Bajo	Bajo
	Calentar.	Bajo	Medio	Medio
	Almacenar Almidón Seco.	Bajo	Bajo	Bajo
Acondicionar La Mezcla.	Pesar Plastificante.	Bajo	Medio	Bajo
	Pesar Agente Espumante.	Bajo	Medio	Bajo
	Pesar Almidón Seco.	Bajo	Medio	Bajo
	Ingresar Almidón Seco y Agente Espumante.	Bajo	Bajo	Bajo
	Mezclar.	Bajo	Medio	Bajo
	Agregar Plastificante.	Bajo	Bajo	Bajo
	Mezclar.	Bajo	Medio	Bajo
	Almacenar Compuesto 1.	Bajo	Bajo	Bajo
Obtener Espumado Biodegradable.	Pesar Agente Nucleante.	Bajo	Medio	Bajo
	Agregar Compuesto 1 y Agente Nucleante.	Bajo	Bajo	Bajo
	Mezclar.	Bajo	Medio	Bajo
	Precalear.	Medio	Alto	Medio

	Agregar Compuesto 2.	Medio	Medio	Alto
	Fundir.	Bajo	Bajo	Alto
	Cortar Cordón Espumado.	Medio	Bajo	Alto
	Ordenar.	Bajo	Bajo	Bajo
	Almacenar.	Bajo	Bajo	Bajo
Acondicionar las Espumas.	Ingresar Cordones.	Bajo	Medio	Bajo
	Almacenar.	Bajo	Bajo	Bajo

Fuente: Propia, junio de 2016.

El esfuerzo físico necesario para llevar a cabo cada fase de PROESBIPAY es en su mayoría bajo, pues solo hay 3 fases que requieren un nivel medio y ninguna que requiera un esfuerzo alto. Estas fases de dificultad media, hacen parte del procedimiento de unidad para obtener espumado biodegradable y corresponden a: precalentar, agregar compuesto 2 y cortar cordón espumado. La primera fase mencionada involucra el acople y programación de todos los módulos de control pertenecientes al módulo de equipo extrusor; algunos de estos equipos son pesados y requieren transportarse. En la segunda fase, el operario ingresa el compuesto 2 en la tolva y lo empuja con un trozo de madera; en la entrevista, un investigador mencionó que esta es una actividad tediosa y estresante. Por último, la tercera fase señalada exige velocidad por parte del operario al cortar el cordón espumado para evitar pérdidas de material ya que este sale de manera continua del extrusor; además, los trozos de espumado deben estar separados mientras están calientes para evitar que se peguen, esto implica una carga adicional para el operario. Cabe resaltar, que por inspección directa se pudo identificar la cantidad aproximada de espumado biodegradable que es desechado como residuo en esta operación (389.1gr por lote).

El conocimiento requerido para efectuar cada fase del proceso se distribuye de modo que 11 fases demandan un nivel bajo, 11 medio y 1 alto. Siendo actividades de ingreso y almacenaje de material o automáticas las que demandan bajos niveles de conocimiento; mientras que, las actividades de pesaje, mezclado e intervención con algunos equipos requieren conocimiento de los parámetros y de manipulación de equipos (nivel medio). Sin embargo, la fase “precalentar” exige un alto conocimiento de los equipos involucrados en la extrusión pues estos deben quedar bien acoplados y funcionando adecuadamente para el proceso.

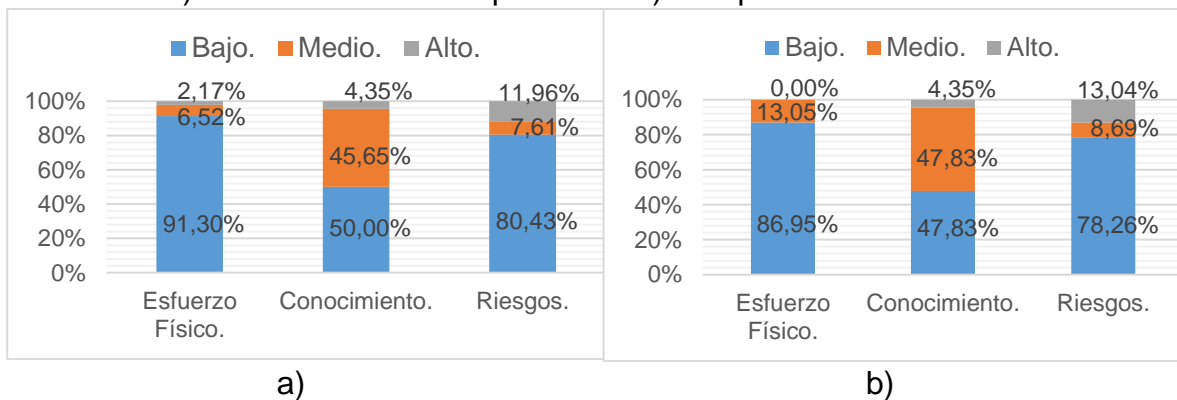
En el PROESBIPAY la mayor parte de las actividades son de bajo riesgo, sin embargo, existen 2 fases que presentan riesgos de nivel medio en los que puede ocurrir una quemadura o golpes leves; pero es en las fases “agregar compuesto 2”, “fundir” y “cortar cordón espumado” donde el riesgo de accidente es alto debido a problemas de seguridad industrial. Estos problemas se ven ratificados por dos sucesos que ocurrieron en el laboratorio; el primero resultó en una quemadura de brazo de uno de los investigadores cuando manipulaba el tornillo del extrusor luego de realizar un proceso de extrusión, y el segundo ocurrió por un descuido del operario que ejecutaba la fase “agregar compuesto 2”, que dejó atrapar por el

extrusor la herramienta con la que empujaba el material y el fragmento de lámina metálica ingresó al tubo de extrusión, dañó el tornillo, provocando la compra de uno nuevo con un costo de 15 millones de pesos en el año 2014.

2.1.2 Desarrollo estadístico de la dificultad

Mediante el estudio estadístico se presenta una perspectiva más clara de la dificultad en la ejecución del PROESBIPAY bajo los criterios de esfuerzo físico, conocimiento y riesgos. Para obtener la información en términos estadísticos se realizó la comparación entre los datos porcentuales de 92 respuestas aportadas por los 4 investigadores encuestados para cada criterio de dificultad (ver *Figura 3a*) y la dificultad individual de cada una de las 23 fases del proceso (*Figura 3b*).

Figura 3. Porcentaje del nivel de dificultad de PROESBIPAY
a). Todos los Datos Capturados b). Respecto a cada fase.



Fuente: Propia, junio de 2016.

El 91.30%, el 6.52% y el 2.17% de las respuestas capturadas para determinar el nivel de esfuerzo físico requerido en PROESBIPAY, lo califican como bajo, medio y alto, respectivamente. En cuanto al conocimiento necesario para realizar adecuadamente el proceso, el 50% de la información levantada para este criterio muestra la necesidad de un nivel básico o bajo; mientras que un 45.65% lo ubica en un nivel medio y el 4.35% restante en alto. Además, los datos obtenidos en la encuesta demuestran que el 80.43% de las 92 respuestas califican al proceso como no riesgoso, el 7.61% como riesgo medio y el 11.96% como riesgo alto.

Considerando las fases, se observa que el 86.95% del proceso demanda un esfuerzo físico bajo y el 13.05% restante, un esfuerzo medio. Además se logra determinar que el 47.83%, el 47.83% y el 4.35% del total de fases requiere conocimientos de nivel bajo, medio y alto respectivamente. En cuanto a la seguridad, en el 78.26% del proceso no existen riesgos; sin embargo, se presentan riesgos de nivel medio en el 8.69% de las fases y las restantes correspondientes al

13.04% del proceso tienen problemas de seguridad industrial clasificados como riesgos altos.

Ahora bien, al comparar las dos gráficas, se demuestra en primer lugar que aproximadamente solo el 9.78 % y 1.09% del proceso requiere de esfuerzo físico medio y alto, respectivamente; mientras que el 89.13% restante solo necesita un nivel bajo de esfuerzo para llevar a cabo las tareas pertinentes. En segundo lugar, alrededor del 48.92% del proceso solo se necesita un nivel básico de conocimientos (bajo) por parte de los operarios; sin embargo, para llevar a cabo las actividades que comprenden el 46.74% y 4.35% restante, se requiere tener un conocimiento medio y alto, haciendo referencia al conocimiento de parámetros de proceso e instalación de equipos respectivamente; como se explica al principio de esta sección. Por último, el 79.35% de PROESBIPAY no presenta riesgos considerables para los operarios; aunque el 8.15% presenta un nivel medio de inseguridad y el otro 12.5% se considera de riesgo alto ya que comprende las fases con problemas de seguridad industrial.

2.2 Nivel de automatización

La definición original que se tiene como referencia para precisar el concepto de “automatización” es la formulación que hace la Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales acerca del concepto de Automática: “métodos y procedimientos cuya finalidad es la sustitución del operador humano por un operador artificial en la generación de una tarea física o mental previamente programada”, a partir de esta formulación se establece la automatización como la aplicación de la automática al control de procesos industriales [3].

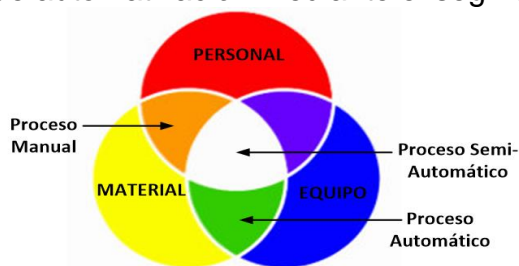
En el libro técnico “Fundamentos de la técnica de automatización” [4], se aprecia como el concepto de automatización está orientado al uso de sistemas de control y de tecnología informática para reducir la necesidad de la intervención humana en un proceso. En el caso industrial, la automatización es el paso más allá de la mecanización en donde los procesos industriales son asistidos por máquinas o sistemas mecánicos que reemplazan las funciones que antes eran realizadas de manera poco eficiente. En la automatización se reduce de gran manera la necesidad mental y sensorial del operador, teniendo en cuenta que evita hacer trabajos repetitivos, pesados y peligrosos o nocivos para la salud.

El término “nivel de automatización” podría ser sinónimo, aunque no necesariamente, de “nivel de tecnología”. El nivel de automatización denota la proporción hombre-máquina en las tareas, o la transferencia de las tareas humanas a las tareas de máquinas, basándose así en la interacción hombre-máquina [5]. Bajo esta orientación, se pueden proponer las siguientes consideraciones: manual (el

humano ejecuta todo, considerando o no las sugerencias de la máquina), semiautomático (el humano selecciona las tareas y da órdenes para que la máquina las ejecute), automático (el hombre es “ignorado” y la máquina selecciona tareas y/o ejecuta ordenes de manera autónoma) [20]. Para un sistema automatizado o no, el componente humano es importante no sólo en el sistema, sino también entre los sistemas.

Se propone la consideración que hace el estándar ISA-95 (parte I) acerca del concepto “nivel de automatización” como una herramienta para entender de mejor manera la temática en sí misma [20,22]. El estándar expone una relación entre los conceptos de Capacidad De Material¹, Capacidad De Personal² y Capacidad De Equipo³ (ver *Figura 4*), en la que su interacción genera un Segmento De Proceso⁴ de tipo “manual”, con material y personal; de tipo “semiautomático”, con material, personal y equipo; y de tipo “automático”, con material y equipo [6].

Figura 4. Nivel de automatización mediante el segmento de proceso



Fuente: Modificada de [7], junio de 2016.

Considerando la información anterior, se evaluaron las 23 fases del proceso PROESBIPAY, resultando: 11 fases manuales, 11 semiautomáticas y 1 automática (ver *Tabla 4*). Además, se observa que la operación “cortar espumado biodegradable” es completamente manual.

Tabla 4. Nivel de automatización de las fases de PROESBIPAY

Proced. de Unidad	Fase	Nivel de Automatización
Modificar Humedad de Almidón	Pesar Almidón	Semiautomático
	Ingresar Almidón	Manual
	Calentar	Semiautomático
	Almacenar Almidón Seco	Manual
	Pesar Plastificante	Semiautomático

¹ **Capacidad de personal:** se define como un conjunto de referencias a personas o clases de personal disponible para un tiempo definido.

² **Capacidad de equipo:** se define como un conjunto de referencias de equipos o clases de equipos disponible en un tiempo definido.

³ **Capacidad de material:** se define como un conjunto de referencias a un lote de material o sub-lote disponible durante un tiempo definido.

⁴ **Segmento de proceso:** es una agrupación lógica de los recursos de personal, recursos de equipos y materiales requeridos para llevar a cabo una etapa de producción.

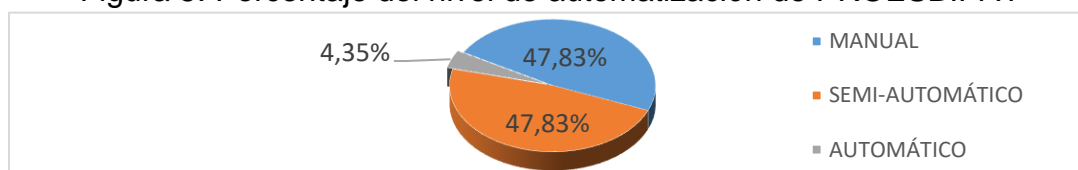
Acondicionar Mezcla.	La	Pesar Agente Espumante	Semiautomático
		Pesar Almidón Seco	Semiautomático
		Agregar Almidón Seco y Espumante	Manual
		Mezclar	Semiautomático
		Agregar Plastificante	Manual
		Mezclar	Semiautomático
		Almacenar Compuesto 1	Manual
Obtener Espumado Biodegradable		Pesar Agente Nucleante	Semiautomático
		Agregar Compuesto 1 y Nucleante	Manual
		Mezclar	Semiautomático
		Precalear	Semiautomático
		Agregar Compuesto 2	Manual
		Fundir	Automático
		Cortar Cordón Espumado	Manual
		Ordenar	Manual
Almacenar	Manual		
Acondicionar Espumas	las	Ingresar Cordones	Semiautomático
		Almacenar	Manual

Fuente: Propia, junio de 2016

2.2.1 Desarrollo estadístico del nivel de automatización de PROESBIPAY

Para desarrollar un análisis estadístico del nivel de automatización de la planta, se fija el total de las fases (23) como la representación del 100% de las mismas; con este planteamiento y según la cantidad de fases manuales, semiautomáticas y automáticas que se identificaron previamente (*Tabla 4*), el nivel de automatización del proceso es el siguiente: 47.83% manual, 47.83% semiautomático y 4.35% automático (ver *Figura 5*).

Figura 5. Porcentaje del nivel de automatización de PROESBIPAY



Fuente: Propia, junio de 2016

2.3 Análisis de modelos ISA-S88.01

De manera general, y teniendo en cuenta la información presentada en las secciones anteriores (1.6 a 2.2), se establece que PROESBIPAY es un proceso tipo Batch (lotes de 450 gr aproximadamente), el tiempo que tarda el proceso de extrusión del espumado está entre 2 y 3 horas máximo, hay tiempos demasiado extensos para reposo del material extruido (24 horas después de la extrusión) y estabilización del mismo (8 días en cámara climática), además, se presenta

desperdicio de material extruido en la salida del extrusor y en la sección de cortado no hay uniformidad en el corte; cabe aclarar que todos los inconvenientes mencionados son propios de implementaciones a nivel de laboratorio, caso que aplica al trabajo en cuestión.

2.3.1 Análisis general del Modelo de Proceso

Las 4 etapas que presenta el modelo (modificación de la humedad del almidón, acondicionamiento de la mezcla, obtención del espumado biodegradable y acondicionamiento de las espumas) son de procesamiento finito y ordenado, lo que corrobora el tipo de proceso que se desarrolla (Batch).

Es importante resaltar, en cuanto a operaciones se refiere, que en el secado del almidón de yuca (operación que pertenece a la etapa “modificación de la humedad del almidón”) el control del porcentaje de humedad en el almidón (1% o inferior) es de tipo manual (una vez termina el tiempo que se considera apropiado para secado, se inspecciona, con apoyo de una balanza de humedad el porcentaje de humedad, de no cumplir con lo necesario se introduce nuevamente hasta encontrar el punto deseado). En el cortado de espumado biodegradable (operación que pertenece a la etapa “obtención del espumado biodegradable”), la longitud y grosor de los cordones espumados es reiterativamente irregular por tratarse de un cortado manual; el estirado y longitud del cordón no es igual en cada corte. En el caso de la estabilización de espumado biodegradable (operación de la etapa “estabilización de espumas”) la gran desventaja es el tiempo de estabilización que ocupa alrededor de 8 días.

En el campo de las acciones de proceso, cabe resaltar que la acción “almacenar compuesto” (presente en la operación de acondicionamiento de la mezcla) puede presentar afectaciones externas debido al tipo de recipiente (definido como hermético) que se usa para almacenamiento, este elemento no está diseñado específicamente para tal fin y podría no cumplir con la característica de “hermético”. En el caso de la acción “ingresar compuesto” (pertenece a la operación “extruido del compuesto 2”), el operario hace una alimentación manual apoyado por un trozo de madera que no garantiza una presión uniforme a la masa que está ingresando.

2.3.2 Análisis general del Modelo Físico

Tanto para la Unidad de Modificación de la Humedad de Almidón como para la Unidad de Acondicionamiento de la Mezcla, el laboratorio cuenta con equipos con las características adecuadas para la realización de las fases pertinentes. Sin embargo, el elemento utilizado como “Recipiente Hermético” no garantiza las condiciones de aislamiento necesarias para almacenamiento puesto que se utiliza trozos de plástico en la tapa para sellarlo.

A pesar que el proceso se realiza a nivel de laboratorio, existen equipos lo suficientemente especializados para realizar cada fase, como el Módulo de equipo Extrusor, que contiene 4 equipos (máster de control, módulo de tornillo simple, chiller, compresor de aire) que trabajan de manera automática y semiautomática; sin embargo, deben ser acoplados con mucha precisión pues de esto depende la integridad de dichos equipos y la seguridad del personal. Por esta razón y además, por su valor económico, se consideran críticos la mayor parte de equipos que conforman al equipo Extrusor.

De la misma manera, también existen equipos muy básicos usados para llevar a cabo algunas fases como las que se realizan en el Módulo de Corte. Al ejecutarse estas fases de manera manual, el operario con la ayuda de unas tijeras corta en secciones el cordón de espuma, generando cantidades considerables de pérdidas de material debido a la velocidad con la que este sale del cabezal del extrusor. Además, cabe aclarar que estas tareas presentan riesgos de quemadura para el operario que las desarrolla puesto que la temperatura del cordón espumado sigue siendo alta luego de salir por el extrusor.

2.3.3 Análisis general del Modelo de Control Procedimental

La secuencia organizada que se aplica para la ejecución jerárquica del proceso, permite visualizar claramente cada uno de los “eslabones de la cadena” que contribuyen a la culminación exitosa de cada “procedimiento de unidad”, este hecho permite identificar rápida y efectivamente los puntos que no aportan de buena manera al proceso en general; las 23 fases de PROESBIPAY permiten hacer la mencionada visualización y el respectivo seguimiento. El hecho de haber definido cada una de las fases del proceso siguiendo un criterio de “alto nivel de detalle” permite que se ilustren claramente los parámetros o variables (temperatura, longitud, humedad, tiempo) que intervienen en la ejecución de proceso.

En cuanto al nivel de automatización basado en las fases del proceso, se estableció que el 47.83% se lleva a cabo de forma manual, el 47.83% es semiautomático y el 4.35% es automático.

2.4 Aspectos generales afines con las necesidades del proceso

Después de realizar una exploración en torno al proceso PROESBIPAY, se identificaron las necesidades de documentación, automatización y mantenimiento presentes en el mismo. Para lograr este cometido, se establecieron encuestas para cada punto mencionado.

2.4.1 Documentación

Para complementar la información levantada en las visitas al Laboratorio de Reología y Empaques de la Universidad del Cauca, se realizó una serie de preguntas a modo de encuesta de tal manera que se obtuviera la respuesta (Resp) correspondiente, referentes a la documentación diligenciada durante el proceso. Esta encuesta se realizó al investigador principal encargado del proceso PROESBIPAY (ver *Tabla 5*).

Tabla 5. Respuestas sobre documentación de PROESBIPAY

Pregunta	Resp.		Anotación
	Sí	No	
¿Documenta la planeación de la ejecución del proceso o sus etapas?	X		Prepara el Batch en una bitácora y toma fotografías del proceso.
¿Realiza en un formato el seguimiento de parámetros?	X		Se registran concentraciones en Bitácoras en cuaderno.
¿Existe un formato para consignar anomalías en el proceso?	X		Registro de equipos con detalles de uso.
¿Documenta formalmente la ejecución del proceso?	X		Informe formal cada mes con los apuntes de las bitácoras.
¿Documenta las órdenes de compra de materias primas?	X		
¿Existe un control documentado de las compras de materias primas?	X		
¿Tiene guías que expliquen el manejo y almacenamiento de materias primas?	X		Por certificación del laboratorio se tienen Manuales.
¿Existe un documento de la receta para la obtención del producto?		X	Se está investigando para definir la receta.

Fuente: Propia, junio de 2016.

Previo a la ejecución del proceso, el investigador encargado planea el Batch experimental a producir y documenta la información en una bitácora donde registra los parámetros del proceso, materiales a utilizar y sus concentraciones. Además, se toman registros fotográficos durante la ejecución del proceso; sin embargo, no es sino hasta fin de mes cuando se realiza un informe formal con los apuntes de los diseños experimentales registrados en las bitácoras y las fotografías tomadas.

Dado que en el laboratorio de Reología y Empaques también se llevan a cabo diferentes procesos por otros investigadores, se efectúa un control de los equipos a través de un formato en el que se consignan anomalías en el proceso y detalles del uso de equipos. Además, como estos procesos hacen parte de un proyecto de regalías, también se realiza un control documentado de la compra de materias primas, y para la certificación del laboratorio se tienen manuales de manejo y almacenamiento de estas.

A pesar que el proceso PROESBIPAY aún se encuentra en investigación, se realiza una documentación adecuada para el registro de anomalías de equipos, control de compras y manipulación de materias primas.

2.4.2 Necesidad en la automatización de fases de PROESBIPAY

Teniendo en cuenta la información sobre el nivel de automatización de cada fase del proceso y el nivel de riesgo (consideraciones que aportaron los investigadores de PROESBIPAY en las encuestas realizadas previamente, sección 2.3.1) que existe en la ejecución de las mismas, se realiza un sondeo a través de una encuesta (ver *Tabla 6*) en la que se plasmó la siguiente pregunta: ¿considera que la fase correspondiente debería ser automatizada?; todo con el fin de identificar las necesidades de automatización que presentan los encuestados para cada una de las fases del proceso.

Tabla 6. Necesidad de automatización de las fases de PROESBIPAY

Procedimiento de Unidad	Fase	Resp.	
		Si	No
Modificar Humedad de Almidón	Pesar Almidón		X
	Ingresar Almidón	X	
	Calentar		X
	Almacenar Almidón seco	X	
Acondicionar la Mezcla	Pesar Plastificante		X
	Pesar Agente Espumante		X
	Pesar Almidón Seco		X
	Agregar Almidón Seco y Agente Espumante	X	
	Mezclar	X	
	Agregar Plastificante	X	
	Mezclar	X	
Obtener Espumado Biodegradable	Almacenar Compuesto 1	X	
	Pesar Agente Nucleante		X
	Agregar Compuesto 1 y Agente Nucleante	X	
	Mezclar	X	
	Precalentar		X
	Ingresar Compuesto 2	X	
	Fundir		X
	Cortar Cordón Espumado	X	
	Ordenar	X	
Almacenar	X		
Acondicionar las Espumas	Ingresar Cordones		X
	Almacenar	X	

Fuente: Propia, junio de 2016.

Como era de esperar, para las fases que pueden clasificarse como “de simple ejecución” (medir masas, calentamiento y precalentamiento de equipos, ingresar cordones espumados a la cámara climática) no se sugirió automatización alguna; por el contrario, para las fases que poseen una complejidad media o alta y teniendo

en cuenta que existen antecedentes de lesiones físicas o cansancio físico en el momento de la ejecución de la fase, se resaltó enérgicamente, por parte de los encuestados, la necesidad de automatizar los procedimientos. Hablando en términos porcentuales, se puede decir que el 60.87% de las fases requieren automatización y el 39.13% no la necesita. Teniendo en cuenta la información recolectada y resaltando que la investigación se desarrolla con fines de implementación productiva a nivel industrial, se puede concluir que la necesidad de llevar a cabo los procedimientos de automatización industrial es importante y contribuiría de buena manera al correcto y eficaz desarrollo del proceso.

2.4.3 Mantenimiento de Equipos de PROESBIPAY

Al realizar las preguntas pertinentes al investigador encargado del proceso PROESBIPAY, se logró obtener la siguiente información importante acerca del mantenimiento que se realiza a los equipos presentes en el proceso (ver Tabla 7).

Tabla 7. Respuestas sobre mantenimiento de equipos de PROESBIPAY

Pregunta	Resp.		Anotación
	Sí	No	
¿Realiza mantenimiento de equipos? (si la respuesta es Sí, especificar cuáles y de qué tipo preventivo o predictivo)	X		<ul style="list-style-type: none"> • Preventivo. • Cada 200 horas de uso. • Reducirán a 100 horas de uso. • Mantenimiento interno por la universidad para calibración y rodamientos. • Mantenimiento 2 por un experto de la casa matriz donde se compró el equipo. • El experto se queda una semana para el mantenimiento de cada equipo.
¿Posee los manuales de información técnica de los equipos? ¿Cuáles?	X		
¿Recurre a los manuales de los equipos para seguir las instrucciones en caso de falla?		X	<ul style="list-style-type: none"> • Los manuales describen como ensamblar el equipo y más que todo su uso.
¿Existe un registro actualizado de las fallas de cada uno de los equipos?	X		<ul style="list-style-type: none"> • Formato por equipos. Registran información de quien lo uso y que fallas tuvo.
¿Realiza calibración de equipos? (Especificar cuáles y con qué frecuencia)	X		<ul style="list-style-type: none"> • La realiza el experto y se ejecuta en el tiempo que este recomienda. • Los manuales también mencionan cómo hacer la calibración y con qué frecuencia.
¿Clasifica los equipos según su tendencia de ser propensos a fallas?	X		<ul style="list-style-type: none"> • Se registra el uso equipos y se entrega al encargado de supervisión de equipos y estandarización en estos aspectos.

¿Considera que tiene las herramientas adecuadas para la limpieza de los extrusores?	X		<ul style="list-style-type: none"> • Herramientas especializadas para el equipo específico. • Esponjas que solo produce el fabricante del Extrusor.
---	---	--	---

Fuente: Propia, junio de 2016.

La información recolectada en la Tabla 7, evidencia que en el laboratorio se realizan dos mantenimientos de tipo preventivo a los equipos más significativos del proceso, cada 200 horas de uso con la tentativa de reducir este tiempo a la mitad. El primero es un mantenimiento interno realizado por la Universidad del Cauca en el que se calibran equipos y se engrasan sus rodamientos; mientras que para el segundo mantenimiento, la casa matriz donde estos fueron comprados envía a un experto durante una semana para el mantenimiento de todos los equipos como por ejemplo el horno de convección forzada, el master de control, etc.

Los investigadores poseen manuales de cada equipo que utilizan; sin embargo, estos solo describen su modo de uso, calibración y ensamblaje, mas no ofrecen una guía a la que puedan recurrir en caso de fallas. Además, como ya se mencionó antes, el laboratorio cuenta con un formato por equipos en el que se registra información de quien lo uso y que fallas tuvo. También hay una persona encargada de recibir estos formatos y analizar su información para clasificar los equipos según su propensión a fallas.

En el laboratorio cuentan con herramientas adecuadas para el equipo determinado. Por ejemplo, se requieren esponjas especiales para la limpieza del tubo y el tornillo del extrusor pues estos no deben quedar con rayones ni sufrir desgaste. Cabe resaltar que se han presentado inconvenientes en la operación del extrusor, entre los más comunes se encuentran: elevación súbita de torque que causa bloqueo de seguridad en el equipo, superación del límite de temperatura programado que genera apagado total del equipo, ingreso de elementos extraños en el módulo de extrusión debido a que se necesita empujar manualmente el material en la tolva de ingreso y riesgo para los operarios que realizan la limpieza del extrusor pues esta se realiza en caliente.

Anexo C

3 Procedimiento de Escalamiento Industrial de Procesos Productivos (PEIPP)

El procedimiento está organizado en 6 pasos, los cuales se describen a continuación [1]:

3.1 Estudio del Proceso a Escala Menor

Por lo general los proyectos aplicados se originan por la concepción inicial de una idea, y su desarrollo comienza en una escala menor tomada como punto de partida. Dicha escala suele ser a nivel de laboratorio. Así, para el estudio del proceso en esta escala se siguen algunos ítems de manera ordenada.

3.1.1 Esquematización y documentación

A lo largo del procesamiento en laboratorio se establecen 2 periodos: desarrollo aplicado de la investigación sobre la idea planteada y obtención de resultados finales (generación del producto deseado).

En el primer periodo, se hace la esquematización con diagramas de flujo que segmenten todo el proceso general en etapas. Así, se muestra el proceso dividido en etapas conformantes, además, se incluyen los materiales que ingresan y resultan en cada una. En el segundo periodo, cuando ya se ha obtenido el producto final deseado, se realiza otra esquematización más específica con diagramas de flujo respecto a operaciones conformantes de cada una de las etapas. Para la organización formal y documentada del proceso, se usa el estándar ISA 88.01, con la cual se logra dividir adecuadamente el proceso en: acciones de ejecución, planta física y procesos resultantes. Por otro lado, durante cada prueba y ejecución, es indispensable que haya una colección ordenada de datos mediante el uso de formatos unificados en consenso por el grupo de investigadores conformantes del proceso.

3.1.2 Cálculo de densidades aparentes

Es importante conocer el valor de las densidades de los materiales que ingresan a cada operación del proceso, ya que estos valores se utilizan para hallar los volúmenes de producción requeridos para la escala industrial a la que se pretende

llegar. Mediante la relación de densidad (ρ), masa (m) y volumen (V), ecuación (1), se pueden hallar las densidades aparentes de manera experimental y sencilla.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Donde, la masa (m) se mide usando una balanza y el volumen (V) se halla teniendo en cuenta un recipiente con volumen definido. Por ejemplo, se deposita almidón de yuca en un recipiente de 1.000 cm³ (1 L) hasta alcanzar dicha medida, luego, se mide la masa del almidón depositado y se relaciona con el volumen mediante la ecuación (1). Se tiene en cuenta que hay consideraciones extras para aumentar la precisión en el cálculo de densidades aparentes, por lo cual la experiencia y conocimiento de los investigadores se hace fundamental en este punto.

3.1.3 Estudio de mercado, unidad productiva

En resumen, la importancia del estudio de mercado se enfoca en la determinación de la unidad productiva real. En ese sentido, se establece cuantitativamente la población a la que irá dirigido el producto fabricado, es decir la demanda a satisfacer.

3.1.4 Primer estudio de factibilidad

Finalmente, es importante conocer si hasta el momento es posible y viable escalar el proceso para comercialización o al nivel de escala deseado. La factibilidad en este punto es orientada según la evaluación y análisis crítico de los resultados logrados, lo cual se realiza por parte de los integrantes directos del proyecto, quienes conocen a profundidad el proceso. Es de notar que la factibilidad es preliminar en esta escala, por lo tanto, la idea no consiste en establecer un estudio detallado y complejo, sino evaluar de forma subjetiva, pero argumentada, los logros y dificultades (“pros y contras”) durante la ejecución de todo el proceso en laboratorio.

3.2 Estudio del Proceso a Escala Mínimamente Aumentada

En ocasiones es necesario proyectar o aumentar la producción inicial del producto, llegando a lo que se conoce normalmente como escala de planta piloto. En la literatura se recomienda un aumento de escala de 1:3 – 1:5, pero la determinación de este valor dependerá del juicio y experiencia que han conseguido los investigadores del proceso en cuestión, considerando la capacidad real de incremento con la que se cuenta hasta el momento. Sin embargo, cuando la escala a nivel de laboratorio es apta y permite la determinación de los ítems que se describirán a continuación, no es necesario plantear el aumento mínimo de escala.

3.2.1 Estudio de variables principales de proceso

Primero, se establecen y organizan las variables que interactúan directamente en cada operación del proceso (pueden clasificarse, según la teoría de control, como variables controladas, manipuladas, según cada operación del proceso). Segundo, se analizan y relacionan dichas variables para conocer su comportamiento ante el pequeño cambio de escala. Por ejemplo, cómo se afectaría la temperatura en el secado de almidón de yuca, cuando se pasa de calentar 1 kg a 5 kg de almidón.

3.2.2 Rendimiento obtenido

En contexto, el rendimiento muestra la información sobre lo que resulta en el proceso respecto a lo ingresado, esto en términos de cantidades porcentuales. Por ejemplo, mediante el rendimiento se puede conocer la relación porcentual de una cantidad de “película biodegradable” obtenida, respecto a la cuantía de almidón de yuca y ácido poliláctico ingresado como materia prima. Además, es de interés realizar el rendimiento específico, es decir, el que involucra las relaciones de cantidades respecto a cada una de las operaciones conformantes de todo el proceso, lo que permite obtener información concreta según cada subproceso.

3.2.3 Consumo energético y de materiales

En este punto, se requiere conocer el consumo de energía que se necesitó para la puesta en marcha de la planta piloto (o del laboratorio, según se haya determinado). Este gasto energético considera 3 grupos usados generalmente en procesos productivos: energía eléctrica, insumo para combustión (normalmente gas) y tomas de aire.

Respecto al consumo de materiales, se organiza toda la información sobre la materia prima que se necesitó en el proceso, incluyendo aditivos o materiales “secundarios”. Una ayuda a tener en cuenta son los modelos de receta maestra y de control que propone el estándar ISA 88.01, con lo cual se organiza la información sobre cómo hacer el procedimiento del proceso con los recursos actuales. Además, en el establecimiento del consumo de materiales, también se incluyen los servicios públicos de agua, alcantarillado, iluminación y demás.

3.2.4 Estudio del manejo de residuos

Se debe establecer el estudio en el que se considere la disposición final de los residuos generados. En este punto hay un enfoque investigativo, en el que se determinen las diferentes opciones para ahondar este tema. Por lo tanto, se hará

necesario disponer un área encargada del estudio de residuos, dada la importancia y complejidad que podría tener este ítem.

3.2.5 Segundo estudio de factibilidad

Con la información de los 2 últimos ítems y la experiencia adquirida hasta este punto, se realiza un segundo estudio de factibilidad. En otras palabras, aparte de la evaluación y análisis de los integrantes del proyecto, se debe incluir la información objetiva y cuantificada que se ha logrado del rendimiento y consumo energético y de materiales. Además, se formula un estudio estadístico a pequeña escala, donde se hará necesario segmentar la población de acuerdo a la cantidad de muestras del producto que se pueda entregar. Finalmente, mediante encuestas, se determinaría el grado de satisfacción y aceptación del producto obtenido.

Evaluando las conclusiones que se obtienen en este estudio de factibilidad, se decide sobre la continuidad del escalamiento industrial. Sin embargo, no se deben tomar acciones trascendentales (cancelar el proyecto) cuando se obtengan resultados negativos, sin antes haber considerado opciones correctivas.

3.3 Establecimiento y Cálculo de Parámetros de Escalamiento

Antes de ahondar en los ítems a seguir, se debe considerar el apoyo interdisciplinario en este paso (aunque lo ideal es que sea de inicio a fin). Por ejemplo, en ocasiones los investigadores omiten o catalogan de baja importancia alguna información del proceso, la cual podría ser de valor para los diseñadores de la planta industrial. En este paso se desarrolla el cálculo de los parámetros aproximados que se esperarían en la escala industrial propuesta.

3.3.1 Cálculo de volúmenes de producción

Los volúmenes de producción se refieren a la cantidad volumétrica de material que se debe producir para cumplir con la unidad productiva a la que se desea llegar. Simplificando el volumen de la ecuación (1), se obtiene la relación de volumen, masa y densidad; donde, la masa (m) resulta del estudio de mercado, es decir, la unidad productiva real, y la densidad aparente (ρ) se calcula en el estudio a escala menor.

Al usar el estándar ISA 88.01 previamente, se cuenta con la ventaja de tener segmentada la información de la planta física. Además, las operaciones, que a su vez conforman todo el proceso, se relacionan directamente con los módulos de equipo. Teniendo esto en cuenta, se determinan los volúmenes de producción de acuerdo a las operaciones, ya que de esta manera se obtendrían los parámetros

para dimensionar la planta de acuerdo a los módulos de equipos. Además, al obtener los volúmenes de producción respecto a cada operación, y a su vez a cada módulo de equipo, se considera un factor de seguridad del 10% para dichos volúmenes. Por ejemplo, el volumen de producción que debe cumplir un tanque de almacenamiento es de 1 m³, pero agregando el factor de seguridad, el volumen de producción sería 1.1 m³.

3.3.2 Cálculo de factor de escalamiento

Otro parámetro que ayuda con la aproximación de valores en la nueva escala es el factor de escalamiento. Este representa la magnitud en la que se aumenta la escala, de acuerdo a la relación entre producción actual y deseada, ecuación (2).

$$K = \frac{m'}{m} \quad (2)$$

Donde, m' es la unidad productiva real y m lo cantidad que se logró producir a escala menor (laboratorio o planta piloto). Por ejemplo, si se pretende cumplir una producción mensual de 1.000 bolsas biodegradables para almácigos, y la fabricación a pequeña escala fue de 100 bolsas mensuales, el factor de escalamiento representaría un incremento de 10 veces.

El factor de escalamiento es importante debido a que podría usarse para aproximar cuantificadamente algunos valores de manera sencilla, por ejemplo: nuevos flujos de proceso, balances de materiales y algunos costos de producción.

3.3.3 Modificación cuantificada de variables principales de proceso

Después de haber realizado el estudio adecuado sobre las variables principales de proceso, se cuantifican según el factor de escalamiento. Por ejemplo, al conocer cómo se afecta la temperatura en el secado de almidón de yuca, se calcularía aproximadamente su valor según la magnitud de la nueva escala que se pretende cumplir. En esta iteración de nuevo se considera muy importante el conocimiento de los investigadores sobre el proceso, quienes deberán ser los encargados primordiales de la cuantificación aproximada de las variables principales en la nueva escala.

3.4 Ajuste Comparativo Según Procesos que ya Operan Industrialmente

En este paso se pretende coleccionar información de procesos que actualmente ya se ejecutan. Es evidente que los procesos ya puestos en marcha deben relacionarse

con el proceso en cuestión (el que se pretende escalar industrialmente). Sin embargo, hay la posibilidad que el proceso en cuestión no se relacione exactamente con alguno ya existente. En este caso, teniendo en cuenta el gran desarrollo de procesos productivos alrededor del mundo, al menos podría encontrarse un proceso actual que se relaciones en parte. Se aclara que previo a la ejecución de los siguientes ítems, se deben actualizar los modelos de ISA S88.01 que ya se han realizado del proceso en cuestión.

3.4.1 Organización de la información del proceso que ya opera industrialmente

Después de coleccionar y documentar toda la información sobre el proceso que ya funciona industrialmente, se construyen los 3 modelos de ISA S88.01. Idealmente se pretendería realizar los 3 modelos, sin embargo esto se limita a la accesibilidad que se tenga de la información, por lo que al menos la elaboración de uno de los modelos aún sería importante.

3.4.2 Comparación de modelos ISA S88.01 del proceso en cuestión y del que ya opera industrialmente

Se pretende relacionar los modelos construidos del proceso ya existente industrialmente, con los modelos obtenidos del proceso en cuestión, haciendo un análisis cruzado entre ellos. Con esta relación comparativa podrían resultar opciones a considerar en el nuevo proceso, las cuales solo se presentarían en la escala industrial y que en el laboratorio o en el piloto se desconocen totalmente. Sin embargo, se tiene en cuenta que una modificación en este punto puede ser compleja. Por lo tanto, la aprobación o no de aplicar las nuevas opciones, dependerá del análisis realizado por los investigadores y diseñadores del proceso en construcción, teniendo en cuenta la posibilidad de aumentar la eficiencia. No obstante, se aclara que la receta del proceso (información que representa los requerimientos de fabricación para un producto específico) no debe alterarse cuando ya se han obtenido buenos resultados en el producto logrado. En ese sentido, el análisis comparativo debe hacerse cuidadosamente. Al concluir este ítem, deben actualizarse los modelos ISA S88.01 que representan el proceso en cuestión.

3.5 Determinación de la planta física en la escala industrial

Para este paso es de gran importancia toda la información que se ha conseguido, específicamente los parámetros de escalamiento. Se pretende la escogencia adecuada de los equipos para la nueva escala. Además, se tiene en cuenta la determinación del espacio físico necesario para la disposición de la planta.

3.5.1 Escogencia de equipos

Determinar los equipos adecuados para el proceso sería complejo de no contar con parámetros que permiten una segmentación específica y orientada a las necesidades propias del proceso. De acuerdo a las características aproximadas que se esperan en la escala industrial como: volúmenes de producción, flujos de proceso, balances de materiales y valores de variables principales de proceso; se comienza con la búsqueda de los equipos necesarios. En lo posible, se evalúan al menos 3 fabricantes para cada opción de equipo, donde la escogencia del más adecuado se apoya en las opiniones interdisciplinarias de los integrantes del proyecto. Por ejemplo, los diseñadores de la planta industrial deben tener presente el alto conocimiento de los investigadores sobre el proceso. La información de los equipos que se han determinado se debe organizar en tablas con información real y concreta de cada uno, por ejemplo: capacidad, requerimiento de alimentación y costo.

3.5.2 Distribución de la planta

Según el dimensionamiento real de los equipos al que se llegó, se debe tener en cuenta la disposición física que se requiere para montar la planta. También hay que considerar el espacio provisto para: servicios personales (baños), almacenamiento, mantenimiento – limpieza y administración – control del proceso. En ese sentido, se construyen planos en los que se especifique la distribución del espacio para la planta, según los aspectos nombrados previamente y los que, a consideración de los integrantes del proyecto, se deban agregar.

3.6 Organización del escalamiento industrial logrado

En este último paso se aterriza toda la información que se logró respecto al escalamiento industrial del proceso productivo.

3.6.1 Aspectos empresariales

En primera instancia, se construye la cadena de valor donde se representen las actividades principales y de apoyo que conforman el proceso en su nueva escala. El interés de la cadena de valor se orienta a la satisfacción de las necesidades del cliente y el cumplimiento de los objetivos organizacionales, por lo tanto está abierta a su actualización constante. Segundo, se establece la misión y visión de la empresa, donde se muestre la ocupación e importancia de la organización y las metas que se desean conseguir a futuro. Como es visto, la cadena de valor, misión y visión tienen gran relación en cuanto a importancia y finalidad. Por último, en

cuanto a demás aspectos empresariales, se tiene presente que la puesta en marcha de la planta a nivel industrial conlleva a trámites administrativos empresariales (registro de la empresa y del producto, compra de materiales en las nuevas cantidades, entre otros), lo que debe tomarse en consideración por parte de los integrantes del proyecto encargados de esta área. Este estudio administrativo se tiene en cuenta, pero esta por fuera de la propuesta de escalamiento industrial a un nivel detallado.

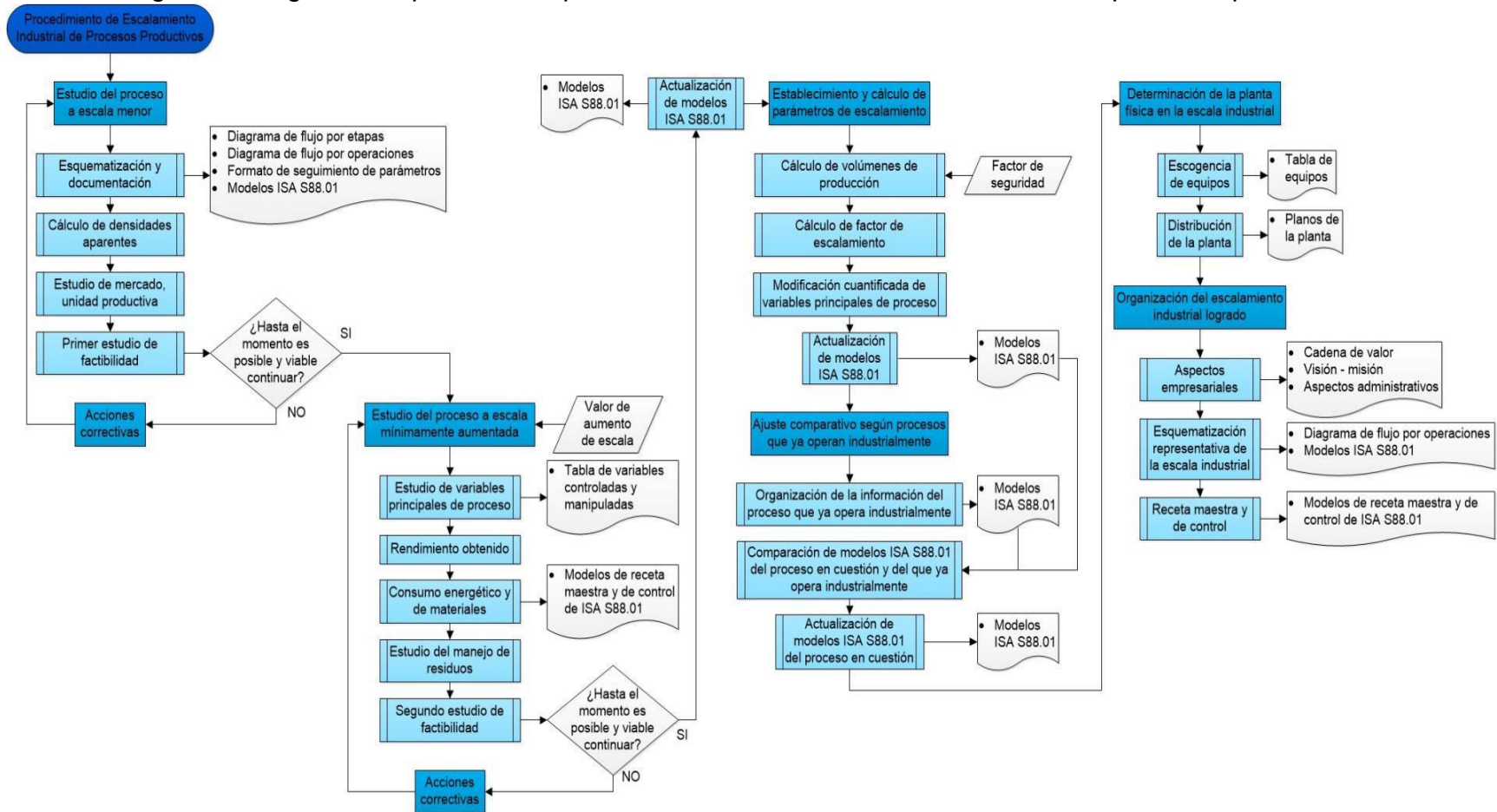
3.6.2 Esquemmatización representativa de la escala industrial

Se realizan los diagramas de flujo por operaciones respecto a la escala industrial lograda, incluyendo datos de balance de materiales. Por otro lado, se debe hacer la actualización final de los modelos ISA S88.01. Sin embargo, estos siempre van a estar sujetos a futuras actualizaciones conforme crece la organización. Una vez más, se recalca la importancia en los modelos ISA S88.01, ya que proporcionan una visión completa del proceso, que entre otras cosas, será útil para los nuevos integrantes que irán sumándose a la empresa.

3.6.3 Receta maestra y de control

De igual manera, en este ítem se actualizan y/o construyen los modelos de receta maestra y de control, donde se mostrará la información detallada de materiales, cantidades, parámetros y equipos en la nueva escala. Se aclara que en este punto no se ha puesto en marcha la escala industrial, por lo que estos modelos de receta no se relacionarán en torno a un producto ya obtenido, sino que pretenden organizar y mostrar toda la información que se obtuvo para la escala industrial. Finalmente, se reúne toda la información respecto al planteamiento del procedimiento de escalamiento industrial de procesos productivos, esquematizándola en un diagrama de proceso que concreta cada uno de los procesos, subproceso, decisiones, datos y documentos que conforman el procedimiento propuesto (ver Figura 6).

Figura 6. Diagrama de proceso del procedimiento de escalamiento industrial de procesos productivos



Fuente: El autor, noviembre de 2015

Anexo D

4 Metodología de Manejo Integral de Residuos

En este anexo se presenta una metodología para el manejo integral de residuos, basada en literatura relacionada con esta temática [8-11], y teniendo en cuenta que debe adaptarse a las particularidades que posee PROESBIPAY a nivel de laboratorio y/o producción de tipo piloto.

4.1 Pasos de la Metodología para el Manejo Integral de Residuos

En síntesis, la metodología que se propone consta de 3 pasos como se observa en la Tabla 8:

Tabla 8. Clasificación de residuos

PASOS	COMPONENTES	
Clasificación según el tipo de residuos generados	No peligrosos	Aprovechables
		No aprovechables
		Orgánicos biodegradables
	Peligrosos	
	Especiales	
Diagnóstico ambiental	Descripción de la organización	
	Prevención y minimización	
	Generación de residuos	
	Separación en la fuente	
	Almacenamiento	
	Recolección y transporte	
	Aprovechamiento	
	Tratamiento	
	Disposición final	
Estrategias para el manejo adecuado de residuos	Prevención, minimización y separación en la fuente	
	Recolección	
	Almacenamiento	
	Aprovechamiento, tratamiento y/o disposición final	

Fuente: Propia, septiembre de 2016

4.1.1 Clasificación según el tipo de residuos generados

Residuo Sólido: Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final (Decreto 1713 de 2002). Como se

mencionó (ver Tabla 8), los residuos pueden clasificarse en aprovechables, no aprovechables, orgánico biodegradable, peligrosos, especiales; cada clasificación agrupa una serie de materiales (ver

Tabla 9) y según la fuente (actividad generadora) o procedencia pueden ser de tipo domésticos, industriales, comerciales, institucionales, agrícolas, de construcción, servicios municipales [9].

Tabla 9. Agrupación de materiales según la clasificación de residuos

Tipo	Clasificación	Ejemplo	Manejo
No Peligrosos	Aprovechables	Papeles de archivo, kraft, cartulina, cartón, periódico, y plegadiza; Vidrio; Plástico de envases, sucio, bolsas, vasos y PET; Metales y Tetra pack	Reciclaje, Reutilización
	No Aprovechables	Papel Tissue: higiénico, servilletas, toallas de mano y pañales; Papel encerado y metalizado; Cerámicas; Material de barrido; Colillas de cigarrillo e Icopor	Disposición final
	Orgánicos Biodegradables	Residuos de comida Material vegetal	Compostaje, Lombricultivo
Peligrosos		RAEE, Pilas y baterías, Químicos, medicamentos, aceites usados, biológicos	Tratamiento, Inspección, Disposición en celda de seguridad
Especiales		Escombros, llantas, colchones, muebles, estantes, lodos	Servicio especial de recolección

Fuente: Tomada de [8], septiembre de 2016

Residuo orgánico biodegradable: son aquellos que tienen la característica de poder desintegrarse o degradarse rápidamente en el ambiente, pueden ser de tipo químico o naturales. En esta clasificación se encuentran las frutas, vegetales, restos de alimentos, cascaras, carnes, madera y otros residuos que puedan ser transformados en materia orgánica [8].

Residuo Aprovechable: Cualquier material, objeto, sustancia o elemento que no tiene valor para quien lo genera, pero se puede incorporar nuevamente a un proceso productivo (Decreto 1713 de 2002).

Residuo No Aprovechable: Todo material o sustancia que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación a un proceso productivo. No tienen ningún valor comercial, por lo tanto requieren disposición final (Decreto 1713 de 2002).

Residuos Industriales: Su fuente o procedencia son las industrias de manufactura y producción de bienes. La naturaleza de estos residuos sólidos son, generalmente, aluminio, cartón, papel, plástico, maderas, vidrio, metales, residuos orgánicos, residuos especiales, entre otros [9].

4.1.2 Diagnóstico ambiental (etapas para el manejo de residuos)

El manejo integral de residuos implica la adopción de todas las medidas necesarias en las actividades de prevención, minimización, separación en la fuente, almacenamiento, transporte, aprovechamiento, valorización, tratamiento y/o disposición final, importación y exportación de residuos peligrosos, no peligrosos y especiales, que se realizan de manera individual o interrelacionadas de manera adecuada y en condiciones que propendan por el cuidado de la salud humana y el ambiente [8]. A continuación, se propone el desarrollo de algunas etapas correspondientes al manejo integral de residuos, teniendo en cuenta que la implementación de las mismas depende de la aplicabilidad que tengan sobre las particularidades de PROESBIPAY a nivel de laboratorio y/o planta piloto

Realizar el diagnóstico ambiental de la organización

El diagnóstico es una revisión de la situación actual de la organización en cuanto al manejo de los residuos generados. Una correcta identificación de la situación real en materia de residuos permite identificar fortalezas, falencias y elegir las alternativas de manejo integral, tales como la reutilización, comercialización, valoración y/o aprovechamiento que le pueden aportar a la organización beneficios económicos, sociales y ambientales.

En el diagnóstico se debe establecer una descripción de la organización, que contenga como mínimo los siguientes elementos:

- Actividad que desarrolla, operaciones involucradas.
- N° de personas que habitan, laboran, acuden o visitan las instalaciones de la organización.
- Dependencias con las que cuenta o procesos productivos que posee.
- Número de jornadas laborales, entre otros.
- Flujos de materiales (materias primas e insumos, productos y residuos generados).

Se debe realizar una revisión de la situación que presenta la organización en relación con la prevención y minimización, generación de residuos, separación en la fuente, almacenamiento, recolección, transporte, aprovechamiento, valorización, tratamiento y disposición final. Para este fin se discriminan a continuación cada uno de estos aspectos:

Prevención y minimización

Se debe establecer si en la organización se adelantan procesos para evitar o minimizar la generación de residuos.

Generación

Se debe establecer la composición, cantidad, características y calidad de los residuos especiales, peligrosos y no peligrosos que se generan en la organización, por medio de una caracterización y aforo de acuerdo con alguna de las metodologías existentes para este fin.

Separación en la fuente

Se debe determinar si en la organización se realiza separación en la fuente, si es así, tener en cuenta aspectos como:

- Tipo de residuos que se separan.
- Existencia y cantidad de recipientes adecuados (capacidad, código de colores, entre otros).
- Ubicación estratégica dentro de la organización y distribución por zonas.
- Calidad de la separación.

Además, se deben identificar las dificultades que se presentan en el proceso de separación de los residuos para establecer en una etapa posterior las alternativas de solución.

Almacenamiento

Se recomienda establecer la existencia y ubicación de los sitios de almacenamiento dentro de la organización, evaluando las características que debe cumplir de acuerdo a lo establecido en este Manual. Para llevar a cabo este paso puede diligenciarse el siguiente formato (ver Tabla 10):

Tabla 10. Características de sitios de almacenamiento de residuos no peligrosos

Descripción	Cumple	No Cumple ⁵
Localizado al interior de la organización y de acceso restringido.		X
Los acabados permiten su limpieza e impiden la formación de ambientes propicios para el desarrollo de microorganismos.		X
Cubierto para protección de aguas lluvias, iluminación y ventilación adecuada (rejillas o ventanas), Sistema de drenaje y piso duro e impermeable.		X
Posee sistemas de control de incendios (equipo de extinción de incendios, suministro cercano de agua, etc.)		X
La unidad de almacenamiento evita el acceso y proliferación de animales domésticos, roedores y otras clases de vectores.		X
El sitio no causa molestias e impactos en la comunidad.		X
Cuenta con recipientes o cajas de almacenamiento para realiza su adecuada presentación.		X
La unidad de almacenamiento es aseada, fumigada y desinfectada frecuentemente.		X

⁵ Las respuestas de las tablas marcadas con * corresponden a la situación actual de PROESBIPAY a nivel de laboratorio.

Dispone en lo posible de una báscula o sistema de medición de pesos o volúmenes y se lleva un registro para el control de la generación de residuos.		X
Debe ser de uso exclusivo para residuos y estar señalizado.		X
Disponer de espacios por clase de residuo, de acuerdo a su clasificación (reciclable, peligroso, ordinario, etc.)		X

Fuente: Tomada de [8], septiembre de 2016

Recolección y transporte

Verificar la manera como se están evacuando los residuos generados, tanto al interior de la organización en lo concerniente a los diferentes puntos de generación, como al exterior de la misma en cuanto a las empresas que recogen y transportan los residuos hasta la siguiente etapa del manejo. Se deben verificar aspectos como: *Recolección al interior de la organización*: Diligenciar el formato presentado en la Tabla 11.

Tabla 11. Actividades inherentes a la recolección interna de residuos

Descripción	Cumple	No Cumple*
Tiene definidas rutas de recolección.		X
Establece horarios y frecuencias de recolección.		X
Realiza la recolección selectiva de los residuos en los puntos de generación.		X
Los elementos empleados para la recolección de residuos peligrosos son de uso exclusivo para este fin.		X
Las personas que realizan esta actividad cuentan con los elementos de protección personal necesarios como tapabocas, guantes, gafas, etc.		X
En caso de ser necesario (por cantidades, distancias y tipo de residuos) se cuenta con equipos de cargue y movilización.		X

Fuente: tomada de [8], septiembre de 2016

Recolección al exterior de la organización: Se puede diligenciar el formato presentado en la Tabla 12.

Tabla 12. Actividades inherentes a recolección y transporte externos a la empresa

Descripción	Cumple	No Cumple*
Verifica que los vehículos que transportan sustancias o residuos peligrosos tengan toda la documentación establecida por el decreto 1609/02 o normas que la sustituyan o modifiquen y cumplan con los requisitos dispuestos en este mismo.		X
Verifican los documentos y la integridad de los envases y embalajes para la entrega de residuos.		X

Fuente: Tomada de [8], septiembre de 2016

Aprovechamiento

Se recomienda identificar si se está realizando el aprovechamiento de residuos al interior o al exterior de la organización y establecer el tipo de técnica o proceso, el tipo de residuo y el producto final que se obtiene.

Tratamiento

Determinar si se está dando algún tipo de tratamiento a los residuos generados, en caso afirmativo, definir qué proceso usa para cada tipo de residuo y si se realiza al interior o al exterior de la organización.

Disposición final

Identificar qué clase de disposición final se da para cada tipo de residuo, el lugar donde se están disponiendo finalmente los residuos que se generan en su organización, y si ésta se hace al interior o al exterior de la organización. Es de anotar que según lo establecido en el Decreto 1220 de 2005, las actividades de almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de residuos peligrosos requieren de la obtención previa de una licencia ambiental.

4.1.3 Estrategias para el manejo integral de residuos

Prevención, minimización y separación en la fuente

La prevención y la minimización en la generación de los residuos desde su origen son la forma más eficaz de reducir la cantidad de residuos a manejar, el costo asociado a su manipulación y los impactos a la salud y al ambiente. Esta actividad implica:

- La adopción de buenas prácticas, la optimización de los procesos, el cambio a tecnologías limpias, la sustitución de materias primas y la modificación de productos.
- La reutilización de elementos que se generan en los procesos de la organización. Igualmente el reciclaje de materiales, aprovechamiento de subproductos utilizándolos como materias primas dentro del mismo proceso productivo o dentro de otro.
- La utilización de una menor cantidad de empaques, solicitando al proveedor la entrega de productos sin envolturas innecesarias, el empleo de elementos que sean susceptibles de aprovechamiento para reemplazar el uso de aquellos que no lo son.

Para los generadores, la implementación de estrategias de gestión orientadas a la prevención y minimización de los residuos representa beneficios económicos, ambientales, legales y de imagen pública, entre otros. Sin embargo, debe haber un compromiso de la gerencia o de la dirección de la organización frente a la gestión de los residuos, para garantizar que el programa tenga éxito, reconociendo que su implementación reducirá costos y mejorará su actuación

ambiental, expresando su adopción a través de la política ambiental de la empresa, organización o institución.

Separación en la fuente

La separación en la fuente es la base fundamental de la adecuada gestión de residuos y consiste en la separación inicial de manera selectiva de los residuos procedentes de cada una de los centros generadores de la organización, dándose inicio a una cadena de actividades y procesos cuya efectividad depende de la adecuada clasificación de los residuos.

Posterior a los procesos de minimización de los residuos en los puntos de generación y para realizar una correcta separación en la fuente, se debe disponer de recipientes adecuados, que deben ser de un material resistente que no se deteriore con facilidad y cuyo diseño y capacidad optimicen el proceso de almacenamiento.

El diagnóstico permite definir el tipo y cantidad de recipientes que se requieren para la adecuada separación de los residuos en todas las áreas de la organización. Los recipientes utilizados preferiblemente deben cumplir con el color correspondiente a la clase de residuos que se va a depositar en ellos como se ilustra en la *Figura 7* y que se denomina Código de Colores. Además, deben ser visibles y estar ubicados estratégicamente en las instalaciones de la organización; en caso de que los recipientes que posee la organización no cumplan con el Código de Colores puede pintarse, emplear cintas adhesivas visibles o utilizar el fondo del rótulo para establecer el color correspondiente al tipo de residuo.

Para cumplir con el Código de Colores no se requiere de bolsas del mismo color del recipiente, estas pueden ser reemplazadas por bolsas transparentes o de color, teniendo cuidado en el momento de recolección selectiva de cada residuo.

Figura 7. Código de colores para los contenedores de residuos



Fuente: Tomada de [11], septiembre de 2016

Para facilitar el proceso de separación en la fuente es conveniente que los recipientes estén rotulados de la siguiente manera (ver *Tabla 13*):

- Tipo de residuo a disponer.
- Símbolo asociado, en caso de tener uno.
- Listado de residuos generados con mayor frecuencia en la organización.

Tabla 13. Rotulación de recipientes para manejo de residuos

ROTULACIÓN PARA MANEJO DE RESIDUOS	
 <p>Envolturas de mecatro Servilletas sucias Residuos de barrido Colillas Espumas Restos de vajillas y porcelanas Residuos de alimentos antes y después de su preparación Cáscaras de frutas y verduras</p>	 <p>Papel de archivo (impresos y /o escritos en general) Papel kraft Cajas de cartón – plegadiza (cartón delgado) Periódicos, revistas, cuadernos y catálogos Papeles de oficina (fotocopias, sobres y tarjetas) Guías telefónicas Rollos de cartón Empaques de Tetra Pack</p>
 <p>Botellas, envases y frascos de cualquier forma y color (compotas, cafés, licores, cervezas, lociones, mermelada) Vidrios planos (espejos o ventanas) Acero, cobre, plomo, hierro y aluminio Utensilios de cocinas metálicos Latas de gaseosa y cerveza Tuberías metálicas Adornos y utensilios metálicos Aluminio (metal)</p>	 <p>Botellas, envases y frascos de cualquier forma y color Bolsas desechables Vasos desechables Recipientes plásticos en general</p>
 <p>Residuos hospitalarios (agujas, algodones, gasas, instrumentos para procedimientos) Productos inflamables y recipientes. Aceites usados Residuos tóxicos Fármacos vencidos</p>	 <p>Residuos de alimentos (Cáscaras de frutas y verduras, restos de alimentos, ripo de café) Residuos de podas y material vegetal</p>

Fuente: Tomada de [11], septiembre de 2016.

Es importante aclarar que en los puntos de separación no es necesaria la ubicación de todos los recipientes acorde al código de colores, ya que su ubicación y cantidad debe obedecer a los aspectos identificados durante el diagnóstico, de manera que se distribuyan acorde a los residuos generados en cada sección.

Recolección

Se deben diseñar rutas de recolección interna de residuos según la distribución de los puntos de generación y que cubran la totalidad de la organización, estableciendo horarios y frecuencias e identificando en cada uno de estos lo siguiente:

- Localización, número y capacidad de los recipientes donde se encuentran los residuos.
- Tipo de residuo generado, lo cual está asociado al color del recipiente.

Esta actividad puede realizarse con la ayuda de planos de la edificación donde funciona la organización. La frecuencia de recolección interna dependerá de la capacidad de almacenamiento y el tipo de residuo generado. Los elementos

empleados para la recolección de residuos peligrosos son de uso exclusivo para este fin.

El tiempo de permanencia de los residuos en los puntos de generación debe ser el mínimo posible, especialmente en áreas donde se generan residuos peligrosos. En el evento de un derrame de residuos peligrosos, se efectuará de inmediato acciones correctivas, conforme a las recomendaciones dadas por los proveedores en las hojas de seguridad de cada material. Deben establecerse los procedimientos para este tipo de acontecimientos y debe quedar consignado en el Plan de Contingencias.

Es necesario disponer de un lugar adecuado para el almacenamiento, lavado, limpieza y desinfección de los recipientes, vehículos de recolección y demás implementos utilizados para la recolección interna. Los recipientes deben ser lavados, desinfectados y secados periódicamente, permitiendo su uso en condiciones sanitarias adecuadas.

Almacenamiento

Los sitios de almacenamiento para residuos no peligrosos y residuos peligrosos están diseñados para acopiar los residuos en un sitio seguro por un periodo de tiempo determinado, a la espera de su gestión externa. Es importante que la organización revise las características que presenta el sitio de almacenamiento y en caso de no presentarse conformidad con lo establecido en las normas vigentes sobre la materia, adopte las acciones pertinentes.

Para el almacenamiento interno de residuos debe contarse con un sitio de almacenamiento central y en caso de ser necesario con sitios de almacenamiento intermedios. Estos últimos se justifican cuando la organización presenta áreas grandes de generación o cuando se ubican en diferentes pisos de la edificación.

El almacenamiento de residuos no peligrosos debe cumplir con las características mencionadas y tenidas en cuenta en la lista de chequeo de la Tabla 10 usada en el diagnóstico.

Aprovechamiento, tratamiento y/o disposición final

En la *Tabla 14* se presentan algunas alternativas de manejo que pueden aplicarse a los residuos.

Tabla 14. Técnicas de manejo de residuos

TIPOS DE RESIDUOS	TÉCNICAS DE MANEJO
Ordinarios e inertes	Relleno sanitario.
Biodegradables	Compostaje, lombricultura, alimentación de animales, etc.
Reciclables: plástico, vidrio, cartón y similares, chatarra.	Reúso, reciclaje, etc.

Peligrosos: con algunas restricciones dependiendo de sus características.	Aprovechamiento, incineración, rellenos de seguridad, otras tecnologías de tratamiento (como térmicos, fisicoquímicos, etc.).
Escombros	Aprovechamiento, escombreras autorizadas.

Fuente: Tomada de [8], septiembre de 2016

4.2 Aplicación de la Metodología para Manejo Adecuado de Residuos en PROESBIPAY a Nivel de Laboratorio

Una vez presentada la metodología para el manejo adecuado de residuos, se procede a aplicar los pasos 1 y 2 de la misma (clasificación de residuos y diagnóstico ambiental) en PROESBIPAY a nivel de laboratorio.

4.2.1 Clasificación de residuos en PROESBIPAY a nivel de laboratorio

Teniendo en cuenta las clasificaciones y conceptos presentados en la sección 3.1.1 del presente anexo, puede concluirse que en PROESBIPAY, en su mayoría, se generan residuos de tipo sólidos, que a su vez se clasifican como orgánicos biodegradables (no peligrosos) y según su procedencia, son de tipo industrial (espumado biodegradable que se descarta por presentar características inadecuadas). Sin embargo, también se genera (pocas cantidades) residuos como envolturas de comestibles, restos de alimentos, recipientes plásticos, basura producto de barrido de pisos, entre otros.

4.2.2 Diagnóstico ambiental

Dado que el diagnóstico debe aplicarse a una implementación existente, en esta etapa se diagnosticará el proceso (PROESBIPAY) implementado a nivel de laboratorio y se usará como apoyo toda la información recolectada acerca del proceso en los capítulos 1 y 2 de la monografía a la cual pertenece el presente anexo.

- **Actividad que desarrolla:**

El proceso de extrusión de espumados biodegradables (PROESBIPAY) se desarrolla hace 2 años aproximadamente, y es llevado a cabo en el Laboratorio de Reología y Empaques de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca. Específicamente, se tiene un proceso de Extrusión de Espumados Biodegradables a partir de almidón de yuca, implementado a nivel de laboratorio y que está constituido por 4 etapas (modificación de la humedad del almidón, acondicionamiento de la mezcla, obtención del espumado biodegradable y acondicionamiento de las espumas).

- **Operaciones involucradas:**
Las operaciones que conforman el proceso son: secado de almidón de yuca, mezclado de almidón con aditivos, mezclado del compuesto 1 (almidón + glicerol + ácido cítrico) con agente nucleante (talco mineral), extruido del compuesto 2 (compuesto 1+talco mineral), cortado de espumado biodegradable y finalmente, la operación de “estabilizado de espumado biodegradable”.
- **Número de personas que laboran o visitan la organización:**
Teniendo en cuenta que el proceso se desarrolla dentro de un marco investigativo y que se encuentra implementado en el Laboratorio de Reología y Empaques de la FACA, la estimación del personal que interviene en PROESBIPAY es de 5 personas, dos de ellas laboran en el área de caracterización de productos y las 3 restantes llevan a cabo el proceso de extrusión de espumados.
- **Dependencias con las que cuenta o procesos productivos que posee:**
Existen varios procesos que se desarrollan paralelamente en el mencionado laboratorio de Reología y Empaques, sin embargo, dejando claro que únicamente se tiene información exacta acerca de PROESBIPAY por ser el caso de estudio, se tomará este proceso de extrusión de espumados como el único que interesa, es decir, no existen dependencias alrededor del proceso en cuestión.
- **Número de jornadas laborales:**
Las instalaciones del laboratorio de Reología y Empaques están disponibles de lunes a sábado, en un horario de 8am hasta 6pm, y en términos generales, durante estos periodos laborales siempre hay personal en estas instalaciones.
- **Flujos de materiales (materias primas e insumos):**
Como se expresó en la sección 2.2 de la monografía que corresponde a este anexo, los insumos y productos generados en cada una de las etapas del proceso son los que se muestran en la Tabla 3 de la misma.

Prevención y minimización

A nivel de laboratorio, la magnitud de la producción del proceso implementado es muy baja (lotes de 500gr), por ello, no se hace necesario llevar a cabo actividades de prevención o minimización. En este orden de ideas, puede concluirse que no se desarrolla prevención o minimización.

Generación

Dado que el residuo más representativo en el proceso es el “espumado biodegradable descartado”, se procede a desarrollar el estudio de caracterización del mismo.

Mediante visita presencial al Laboratorio de Reología y Empaques, se solicitó al ingeniero encargado (Pedro Albán) llevar a cabo el estudio para 3 grupos de

muestras de residuo, de un diámetro promedio de 7.62 mm y un peso promedio de 2.95 mg (ver *Figura 8*).

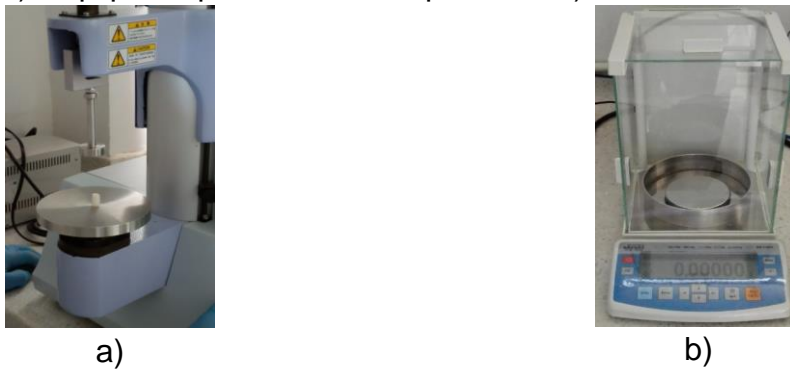
Figura 8. Espumado biodegradable descartado
a). Espumado descartado b). Muestras para caracterización



Fuente: Propia, septiembre de 2016

Haciendo uso de equipo especializado (ver *Figura 9*), se determinan características de Índice de Expansión, Densidad, Índice de Amortiguación y Compresibilidad del residuo (ver *Tabla 16*).

Figura 9. Equipo para caracterización de materiales
a). Equipo de pruebas de compresión. b). Micro-balanza.



Fuente: Propia, septiembre de 2016

El procesamiento del equipo de pruebas entrega una tabulación de datos para cada característica (densidad, expansión, amortiguación, compresibilidad) que se desea estudiar (ver *Tabla 15*).

Tabla 15. Datos procesados en la caracterización del residuo
a). Índice de expansión. b). Densidad c). Índice de amortiguación y compresibilidad

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUO											
a)				b)							
ESPESOR (mm)	ÁREA TRANSVERSAL EXPANDIDO	ÁREA TRANSVERSAL BOQUILLA	ÍNDICE DE EXPANSIÓN	ÁREA TRANSVERSAL EXPANDIDO (m ²)	PESO (kg)	VOLUMEN DEL EXPANDIDO (m ³)	DENSIDAD (kg/m ³)				
7,6	45,365	7,069	6,4178	0,000	0,003	0,0000046	674,948				
7,7	46,566		6,5878	0,000		0,0000043	723,276				
7,75	47,173		6,6736	0,000		0,0000038	806,115				
7,77	47,417		6,7081	0,000		0,0000046	676,716				
7,63	45,724		6,4685	0,000		0,0000038	806,115				
7,63	45,724		6,4685	0,000		0,0000039	799,249				
7,6	45,365		6,4178	0,000		0,0000043	723,276				
7,36	42,545		6,0188	0,000		0,0000043	723,276				
7,6	45,365		6,4178	0,000		0,0000040	768,342				
7,55	44,770		6,3336	0,000		0,0000038	806,115				
PROMEDIO			6,4512	PROMEDIO			750,7426				

	Fuerza maxima 1	Fuerza maxima 2	Spring index	Diametro (m)	Area transversal	Compesibilidad (Pa=N/m ²)	Kpa
1	1,95	1,8975	0,973	0,007603	4,53985E-05	42952,92801	42,9529
2	1,68	1,66	0,988	0,007603	4,53985E-05	37005,59952	37,0056
3	1,38	1,3725	0,995	0,007603	4,53985E-05	30397,45675	30,3975
4	1,57	1,565	0,997	0,007603	4,53985E-05	34582,61384	34,5826
5	1,55	1,4925	0,963	0,007603	4,53985E-05	34142,07099	34,1421
6	1,33	1,3075	0,983	0,007603	4,53985E-05	29296,09962	29,2961
7	1,64	1,635	0,997	0,007603	4,53985E-05	36124,51382	36,1245
8	1,475	1,405	0,953	0,007603	4,53985E-05	32490,03529	32,4900
9	1,485	1,4675	0,988	0,007603	4,53985E-05	32710,30672	32,7103
10	1,68	1,6775	0,999	0,007603	4,53985E-05	37005,59952	37,0056
11	1,65	1,635	0,991	0,007603	4,53985E-05	36344,78524	36,3448
12	1,59	1,5675	0,986	0,007603	4,53985E-05	35023,15669	35,0232
13	1,57438	1,56417	0,994	0,007603	4,53985E-05	34679,09272	34,6791
14	1,55	1,4925	0,963	0,007603	4,53985E-05	34142,07099	34,1421
15	1,48	1,465	0,990	0,007603	4,53985E-05	32600,17101	32,6002

Fuente: Propia, septiembre de 2016

De manera general, los resultados del estudio de caracterización pueden ser presentados como se observa en la *Tabla 16*.

Tabla 16. Resultados de la caracterización de los residuos

MUESTRA	ÍNDICE DE EXPANSIÓN	DENSIDAD (kg/m ³)	ÍNDICE DE AMORTIGUACIÓN	COMPRESIBILIDAD (kPa)
RESIDUOS	6,451	617,978	0,983	35,816
RESIDUOS	7,095	621,023	0,984	33,525
RESIDUOS	5,873	750,743	0,985	34,558

Fuente: Propia, septiembre de 2016

Con respecto a la composición del residuo, los porcentajes de cada componente son los siguientes:

Almidón de yuca seco	: 70%
Glicerol	: 30%
Ácido Cítrico	: 0.5% Respecto al almidón
Talco Mineral	: 0.2% Respecto al almidón

Separación en la fuente

A nivel de laboratorio no se lleva a cabo separación de residuos. En un único recipiente (contenedor normalizado para manejo de residuos color gris) se recogen

residuos de todo tipo: envolturas de comestibles, restos de alimentos, residuos de espumado biodegradable descartado, recipientes plásticos de todo tipo, basura producto de barrido de pisos, entre otros. Se tienen dificultades en cuanto a planta física (poco espacio disponible para ubicación de contenedores apropiados), número de contenedores (existe un único contenedor), metodología de manejo de residuos (no se siguen recomendaciones acerca de manejo de residuos).

Almacenamiento

Una vez diligenciado el formato de la Tabla 10 para PROESBIPAY, se puede observar que el proceso no cumple con los requerimientos de almacenamiento. Diligenciados los dos formatos (Tabla 11, Tabla 12) para PROESBIPAY (relacionados con la recolección y el transporte), se concluye que a nivel de laboratorio no se cumplen las recomendaciones establecidas para el caso.

Aprovechamiento

A nivel de laboratorio no se realiza ninguna clase de aprovechamiento de residuos generados.

Tratamiento

A nivel de laboratorio no se realiza ninguna clase de aprovechamiento de residuos generados.

Disposición final

Teniendo en cuenta que la cantidad de residuos generados a nivel de laboratorio es poca, quien se encarga de la recolección en el laboratorio es el personal de aseo de la Universidad del Cauca, son recogidos en bolsas y posteriormente reunidos con los residuos de otras instalaciones de la FACA. Finalmente son dispuestos en los contenedores designados para recolección, lugar a donde llega el camión de recolección de la empresa SERVIASEO S.A.

A partir de lo identificado en la etapa de diagnóstico y de los resultados obtenidos, se deberá establecer las diferentes estrategias a seguir para subsanar las dificultades que se presentan.

4.2.3 Estrategias para el manejo integral de residuos.

La formulación de las estrategias para manejo adecuado de residuos (paso número 3 de la presente metodología) se desarrolla a nivel de planta piloto y se presenta en la sección 3.2.4 de la monografía que corresponde al presente anexo; lo anterior, teniendo en cuenta que el objetivo del presente trabajo de grado es determinar todas las características correspondientes a un nivel tipo piloto, incluidos los aspectos de manejo de residuos.

Anexo E

5 Dimensionamiento de PROESBIPAY a Escala de Planta Piloto

A continuación se desarrollan los tres pasos clave del procedimiento de escalamiento PEIPP, relacionados con la fundamentación matemática para realizar un escalado de procesos, estos son:

1. **Análisis de variables del proceso productivo:** En este paso se determinan las operaciones críticas o complejas del proceso, y para cada una de ellas se describe a) el funcionamiento del equipo donde se ejecuta la operación, b) se identifica el fenómeno físico químico asociado a la operación y finalmente c) definir un modelo físico matemático con relaciones para la operación.
2. **Cálculo de la unidad productiva de las operaciones:** En este paso se parte de la operación final del proceso y hacia atrás se definen los flujos de alimentación y producción de cada una de las operaciones en la nueva escala, con el fin de determinar los requerimientos de producción por operación. Sin embargo, antes de realizar esto, en este paso, primero se deben determinar los modos (Batch o continuo) y tiempos de ejecución de la operación de cada etapa en la nueva escala.
3. **Modificación cuantificada de las variables principales del proceso:** En este paso se calculan los parámetros y condiciones que deben cumplir cada una de las unidades o equipos industriales en la nueva escala de las operaciones críticas o complejas del proceso. Esto con el fin de realizar la selección correcta de las unidades industriales comerciales que permitan implementar las operaciones.

5.1 Análisis de Variables del Proceso Productivo PROESBIPAY

A continuación se aplican tres pasos, de acuerdo a la metodología de escalamiento PIEPP, que conducen a realizar un estudio de las variables principales de un proceso frente a un cambio en la escala productiva; con el fin de obtener los modelos físico – matemáticos representativos de las operaciones más críticas de PROESBIPAY. Los tres pasos son:

1. Descripción del funcionamiento del equipo asociado a la operación
2. Identificación del tipo de fenómeno físico-matemático asociado a la operación
3. Definición de un modelo físico-matemático asociado a la operación

En el caso particular del proceso PROESBIPAY las etapas críticas son: Secado, Extrusión y Cortado.

5.1.1 Operación de secado de almidón de yuca

1. Describir el funcionamiento del equipo:

Los modelos ISA-S88 de PROESBIPAY, mediante su relación, permiten identificar que la operación de secado de almidón de yuca se ejecuta en un horno de convección forzada para disminuir la humedad del almidón de yuca hasta que sea igual o menor al 1%. El funcionamiento de este equipo involucra un flujo de aire caliente que transita de forma horizontal en una cámara donde hay bandejas con almidón, ubicadas sobre estantes separados uno del otro de manera que el aire circula paralelamente sobre las bandejas; el aire calienta al almidón para evaporar el agua contenida y mediante su movimiento retira el vapor de agua hacia el ambiente por la parte trasera del horno (ver *Figura 10*).

Figura 10. Circulación del aire del horno de convección forzada



Fuente: Tomado de [12], agosto de 2016.

2. Identificar el tipo de fenómeno físico-químico:

Debido a que en la operación de secado hay un gradiente de temperatura entre el aire caliente en movimiento y el almidón, cuando hacen contacto, se desarrolla el fenómeno físico de transferencia de calor desde el aire circulante hacia el almidón representado por la segunda ley de la termodinámica que establece un flujo de calor unidireccional desde los cuerpos de mayor temperatura (aire) hacia los de menor temperatura (almidón), hasta llegar a un equilibrio térmico [13]. De los 3 mecanismos de transferencia de calor (conducción, convección y radiación), es la convección la que gobierna a este proceso pues la transferencia se da a través de un fluido (aire) que presenta movimiento masivo; además, este movimiento es generado por la acción de un ventilador en el equipo. De acuerdo a lo anterior, y teniendo en cuenta que el aire circula paralelamente sobre el almidón en las bandejas (superficie), la operación se clasifica como un sistema de transferencia de calor por convección forzada [14].

La transferencia de calor por convección es complicada debido a que comprende el movimiento del fluido así como la conducción del calor. Teniendo en cuenta la

segunda ley de la termodinámica se puede entender que el movimiento del fluido mejora la transferencia de calor, pues pone en contacto las porciones más calientes con la superficie manteniendo un gradiente de temperatura alto en comparación con un mecanismo por conducción [13]. Con lo anterior se puede concluir que entre mayor sea la velocidad del fluido, mayor será la velocidad de transferencia de calor. En la literatura se demuestra que la transferencia de calor por convección depende en gran medida de las propiedades del fluido, características del flujo, de la configuración geométrica y aspereza de la superficie sólida. Además, se encuentra que la tasa de transferencia de calor está representada por la **Ley del enfriamiento de Newton** que es proporcional al gradiente de temperatura entre el fluido y la superficie sólida como lo demuestra la ecuación (3) [14].

$$\dot{Q} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (3)$$

Donde:

$\left \begin{array}{l} \dot{Q} \\ h \end{array} \right.$: Velocidad de transferencia de calor en $[W] = \left[\frac{J}{s} \right]$	$\left \begin{array}{l} A_s \\ T_s \\ T_\infty \end{array} \right.$: Área superficial de transferencia de calor $[m^2]$
	: Coeficiente de transferencia de calor por convección $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$: Temperatura de la superficie $[^\circ C]$
			: Temperatura del fluido lejos de la superficie $[^\circ C]$

Como se mencionó anteriormente, la tasa de transferencia de calor es proporcional a la diferencia de temperatura entre el fluido circulante y la superficie sólida, así como al área comprendida por el sólido en la que se intercambia calor y al coeficiente de convección h el cual está definido por muchos factores mencionados que dificultan su determinación.

3. Definir un modelo:

La parte de la física que estudia estos procesos (transmisión de calor), demuestra que se han desarrollado modelos del coeficiente de convección a partir de las ecuaciones diferenciales de continuidad, cantidad de movimiento y energía para las capas límite (velocidad y térmica) del flujo paralelo de un fluido sobre una superficie, a las cuales se ha eliminado las dimensiones de todas sus variables agrupándolas en números adimensionales que sirven como parámetros de semejanza, todo esto mediante la aplicación del análisis dimensional [15,14]. El modelo resultante está expresado mediante el principio extendido de semejanza como una función de potencias, así lo demuestra la ecuación (4):

$$Nu = C Re_L^m Pr^n \quad (4)$$

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad Re = \frac{vL}{\nu} \quad Pr = \frac{\nu}{\alpha}$$

Donde:

Nu	: Número adimensional de Nusselt	h	: Coeficiente de transferencia de calor por convección
Re	: Número adimensional de Reynolds	L	: Longitud característica de la configuración geométrica
Pr	: Número adimensional de Prandtl	α	: Difusividad térmica
k	: Conductividad térmica del fluido	ν	: Viscosidad cinemática del fluido
V	: Velocidad de la corriente libre (fluido)		

El número de Nusselt representa el mejoramiento de la transferencia de calor resultante por la convección en relación con la conducción sobre la misma capa de fluido, por lo que un $Nu = 1$ representa que la transferencia de calor a través del fluido se da por conducción pura. El número de Reynolds representa el régimen de flujo (laminar o turbulento) del fluido mediante la razón de las fuerzas de inercia a las fuerzas viscosas. El número de Prandtl es una propiedad del fluido que describe el espesor relativo de las capas límite de velocidad y térmica, de manera que para los gases, este toma valores alrededor de 1, lo que indica que tanto la cantidad de movimiento como el calor, se disipan a través del fluido aproximadamente a la misma velocidad.

En la literatura, se plantea como regla general que los términos m , n y C son constantes, los exponentes no se afectan considerablemente por la geometría del sistema y C es definido como un factor de forma que solo puede determinarse experimentalmente, por lo tanto, los modelos del tipo de la ecuación (4) son aplicables solamente a sistemas geoméricamente semejantes a aquellos en los cuales se determinó experimentalmente este factor de forma [14-16].

Acertadamente el coeficiente de convección es dependiente de las características tanto del flujo como del fluido y de la geometría del sistema. Observando la analogía del aire que circula paralelamente sobre el almidón en bandejas con sistemas cuyo modelo ya se ha determinado por experimentación, en la literatura se encuentra el modelo de la ecuación (5) para un fluido que circula paralelamente sobre una placa plana con flujo laminar y $0.6 \leq Pr < 50$, el cual se toma como modelo de la operación de secado pues esta es semejante geoméricamente [14,17].

$$Nu = 0.664 Re_L^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

Ahora bien, para analizar el comportamiento de las variables se hace uso de la ecuación (3) y de ecuaciones termodinámicas para establecer una relación entre el flujo de calor que entrega el aire al almidón y el calor que este necesita para evaporar la cantidad de agua que se desea. Para este planteamiento se complementa con un factor de eficiencia que permite modelar de forma sencilla las pérdidas de calor que son inherentes en un equipo real, ecuación (6). Por

consiguiente el modelo representativo de la operación de secado de almidón de yuca está determinado por la ecuación (7).

$$\eta = \frac{\dot{Q}_A}{\dot{Q}_a} \quad (6)$$

$$\eta h A_s (T_a - T_A) = \frac{m_A}{t} C p_A (T_a - T_A) + \frac{m_{ev}}{t} \Delta H_v \quad (7)$$

Donde:

η	: Eficiencia de transferencia de calor del aire al almidón	T_A	: Temperatura de la superficie, es decir, la del almidón de yuca
\dot{Q}_A	: Flujo de calor que debe recibir el almidón en el proceso	m_A	: Masa del almidón húmedo
\dot{Q}_a	: Flujo de calor que entrega el aire, ya sea al almidón como a las paredes del horno definido por la ecuación (3)	$C p_A$: Calor específico del almidón húmedo
T_a	: Temperatura de proceso (aire caliente)	m_{ev}	: Masa de agua que se desea retirar del almidón
		ΔH_v	: Calor latente de evaporación (agua)
		t	: Tiempo del proceso (tiempo de secado)

5.1.2 Operación de extruido del compuesto 2

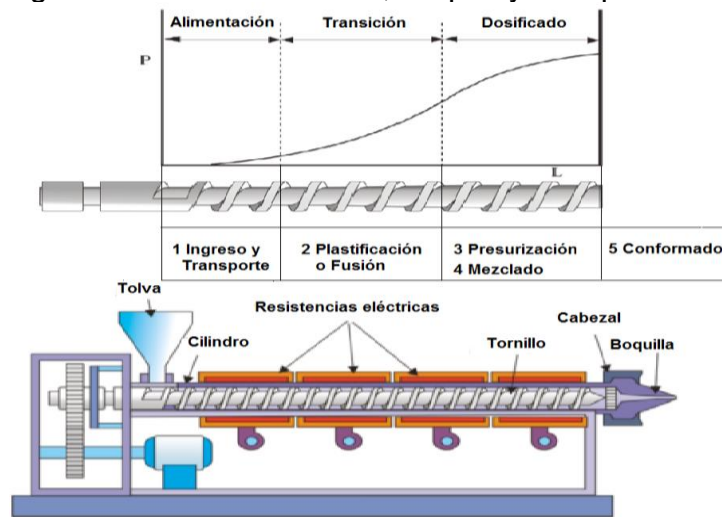
1. Describir el funcionamiento del equipo:

El proceso de extrusión de espumados, se realiza de manera similar a la mayoría de procesos de extrusión existentes, utilizando un extrusor de tornillo simple o uno de doble husillo. Sin embargo, este proceso se caracteriza por el aditamento de un agente espumante en el polímero. Al respecto conviene mencionar que es de gran importancia tener conocimiento del proceso de extrusión convencional para poder entender con mayor claridad el proceso de extrusión de espumados.

Extrusión convencional

La extrusión hace referencia a cualquier proceso de transformación en el que un material fundido es forzado a atravesar una boquilla para producir un cuerpo de sección transversal constante. Generalmente, el proceso de extrusión manifiesta 5 etapas que son ejecutadas en los componentes del equipo Extrusor. Sin embargo, todos los extrusores se dividen en tres zonas denominadas: de alimentación, transición y dosificación, en las cuales aumenta respectivamente la presión y disminuye la profundidad del canal del tornillo (ver *Figura 11*) [18].

Figura 11. Extrusor: Zonas, Etapas y Componentes



Fuente: Modificada de [18], junio de 2016

La zona de alimentación está más cercana a la tolva, la profundidad del canal del tornillo es máxima y su objetivo es compactar el material en una forma sólida espesa y transportarlo hacia la siguiente zona. La zona de transición, es la zona intermedia en la cual la profundidad del canal disminuye de un modo más o menos gradual y el material se funde a medida que va compactándose. La zona de dosificado se ubica cerca de la boquilla y tiene una profundidad de canal muy pequeña y constante. Además, se encarga de presurizar y homogenizar la masa fundida para forzarla a atravesar la boquilla de conformado [18].

Extrusión de espumas

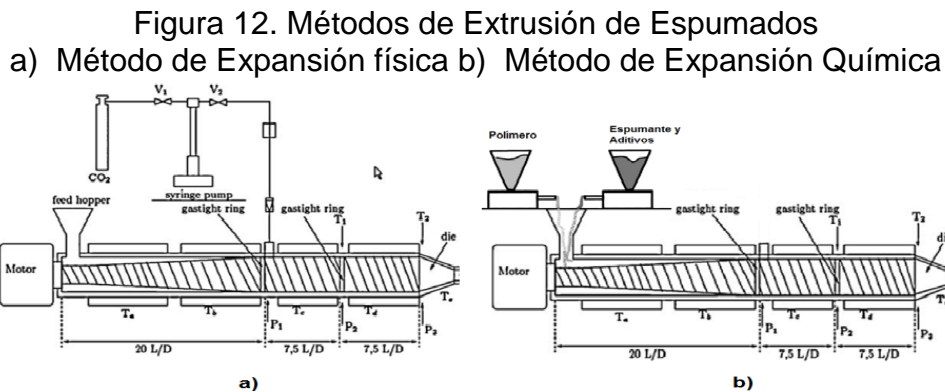
La estructura de las espumas es provocada por la incorporación de gas en un polímero fundido bajo presión en la zona de “dosificado” del extrusor de tornillo simple (ver *Figura 11*). Al momento que la masa fundida sale por la boquilla del extrusor, se elimina la presión y las burbujas de gas se expanden provocando la formación controlada de pequeños orificios en la estructura del polímero. Cabe aclarar que el gas utilizado para este proceso puede ser ingresado directamente o por medio de agentes de expansión química según los métodos que se describen a continuación:

Método de expansión física

Las espumas se obtienen a partir de la incorporación de agentes de soplado físicos, que corresponden a gases o líquidos solubles en el polímero fundido, como el CO_2 y agua, ya que estos se agregan directamente en la masa fundida mediante su inyección en el puerto de ventilación localizado aproximadamente a 2/3 de la distancia entre la tolva y la boquilla de conformado (ver *Figura 12a*) [19].

Método de expansión química

Este método implementa agentes espumantes químicos como la azodicarbonamida y el ácido cítrico, que al calentarlos a una temperatura específica se descomponen generando gas. Por lo tanto, en el proceso de extrusión de espumados mediante expansión química, el agente espumante se mezcla con el polímero base previamente a la extrusión; luego, al extruir, cuando la mezcla está fundida y alcanza la temperatura de descomposición del espumante, se produce el gas que forma las burbujas que se expanden en la estructura del polímero al salir por la boquilla del extrusor (ver *Figura 12b*) [19].



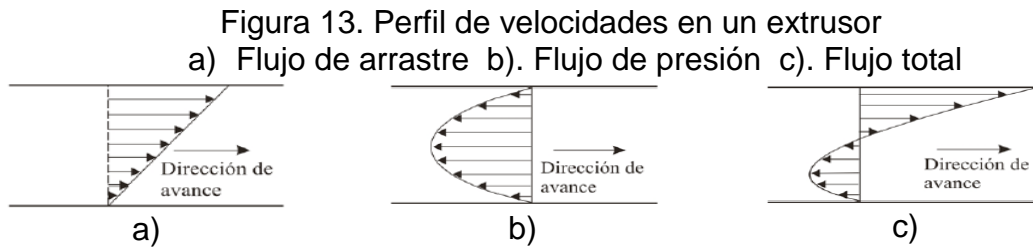
Fuente: Modificada de [20], junio de 2016.

Además del agente espumante utilizado en estos dos métodos, en el proceso de extrusión de espumas también se agregan agentes nucleantes que proporcionan sitios para el crecimiento de las burbujas, lo que permite una distribución homogénea de estas. Después de la inyección del gas o justo antes de la etapa de conformado, las temperaturas de fusión del polímero deben ser más bajas para aumentar su viscosidad y tener una expansión de burbujas más controlada.

2. Identificar el tipo de fenómeno físico-químico:

A causa de que en la zona de dosificación del extrusor la profundidad del canal del tornillo es uniforme y todas las partículas del polímero ya se han fundido, esta zona actúa como una simple bomba cuyo movimiento de material a la salida del extrusor se produce como resultado del giro del tornillo y de la configuración helicoidal del mismo [18]. Por tal razón, el análisis del movimiento de un material viscoso en un extrusor se simplifica al considerar tres tipos de flujo: el mecanismo de transporte principal conocido como **flujo de arrastre**, Q_A , debido a la fricción del polímero con el tornillo y las paredes del cilindro; el **flujo de presión**, Q_P , que se opone al anterior debido al gradiente de presión a lo largo del extrusor causado por la restricción que impone el dado o boquilla; y el **flujo de fuga**, Q_F , también opuesto al flujo de arrastre debido al gradiente de presión y al espacio que hay entre el cilindro y el filete del tornillo [21]. Por lo tanto, el flujo total del extrusor está expresado por la ecuación (8) y los perfiles de velocidad originados se pueden ver en la *Figura 13*.

$$Q_T = Q_A - Q_P - Q_F \quad (8)$$

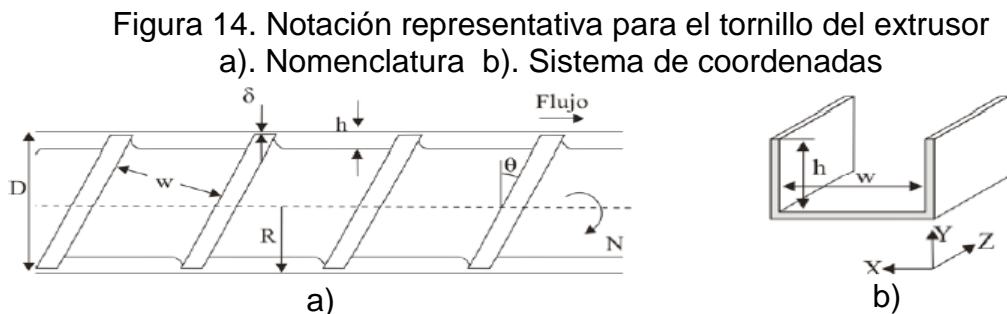


Fuente: Tomado de [18], septiembre de 2016.

3. Definir un modelo:

Debido que en la nueva escala se pretende mantener la configuración de temperaturas del extrusor obtenidas en el laboratorio, con el fin de no modificar las propiedades del producto, interesa obtener un modelo que permita dimensionar el equipo para el flujo de material necesario en la nueva escala. Por lo tanto, se realiza el análisis en la zona de dosificado para facilitar la definición del modelo del extrusor.

Para facilitar el análisis del movimiento del material en el tornillo, se supone que el canal del tornillo esta desenrollado y sobre él se mueve una superficie plana (cilindro) formando un ángulo θ con las paredes del canal, que coincide con el ángulo de los filetes del tornillo; el movimiento de la superficie genera el arrastre del polímero fundido. También se considera que el polímero fundido se comporta como un fluido newtoniano e incompresible. Ahora bien, para los cálculos se sigue la notación representada en la *Figura 14*.



Fuente: Tomado de [18], septiembre de 2016.

Donde:

R	: Radio del tornillo	θ	: Ángulo del filete del tornillo con la vertical
D	: Diámetro del tornillo	δ	: Holgura entre el cilindro y el filete
w	: Ancho del canal	N	: Número de revoluciones a las que gira el tornillo
h	: Profundidad del canal		

Considerando un flujo newtoniano e isotermo de un fluido incompresible en un canal como el de la *Figura 14b* y despreciando δ ya que es del orden de 0.1 milímetros ($\delta \ll h$), al realizar un balance de cantidad de movimiento sobre este sistema, se tiene la ecuación (9) [18].

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = \frac{1}{\eta} \left(\frac{dP}{dZ} \right) \quad (9)$$

Donde:

$$\left| \begin{array}{l} dP/dZ : \text{Gradiente de presión a lo largo del canal} \\ v : \text{Velocidad del fluido en el canal} \end{array} \right| \eta : \text{Viscosidad del fluido}$$

Al considerar que $w \gg h$, se desprecia el efecto que pueden tener las paredes del canal en el flujo y (9) se simplifica a la ecuación (10).

$$\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = \frac{1}{\eta} \left(\frac{dP}{dZ} \right) \quad (10)$$

En la literatura se encuentra que los resultados de la ecuación (10) divergen menos del 10% respecto a (9), siempre y cuando la relación w/h sea mayor de 10 [18,21]. Al integrar dos veces (10) se obtiene la ecuación (11).

$$v = \frac{y^2}{2\eta} \left(\frac{dP}{dZ} \right) + C_1 y + C_2 \quad (11)$$

Ahora se tiene en cuenta las condiciones límite y se sustituyen en (11): cuando $y = 0$, junto al tornillo $v = 0$, se obtiene $C_2 = 0$; y cuando $y = h$, junto a la pared del cilindro $v = V$, velocidad lineal periférica del cilindro, con lo que C_1 esta expresado por (12) y al sustituir el valor de C_1 y C_2 en (11) se tiene la ecuación (13) que representa la velocidad resultante en cualquier punto del canal del tornillo.

$$C_1 = \frac{V}{h} - \frac{h}{2\eta} \left(\frac{dP}{dZ} \right) \quad (12)$$

$$v = \frac{V \cdot y}{h} + \frac{y(y-h)}{2\eta} \left(\frac{dP}{dZ} \right) \quad (13)$$

Como se observa, el primer término de (13) representa la componente del flujo de arrastre cuya velocidad varía linealmente con y , dependiendo de la velocidad del tornillo (ver *Figura 13a*), y el segundo término constituye al flujo de presión que depende del gradiente de presión en el tornillo y crea un perfil de velocidades parabólico como la *Figura 13b*. Si se multiplica la ecuación (13) por la sección

transversal del canal del tornillo se obtiene el caudal de material extruido; esto lleva a integrar el producto de la velocidad (13) por el ancho del canal w entre los límites $y = 0$ e $y = h$, ecuación (14).

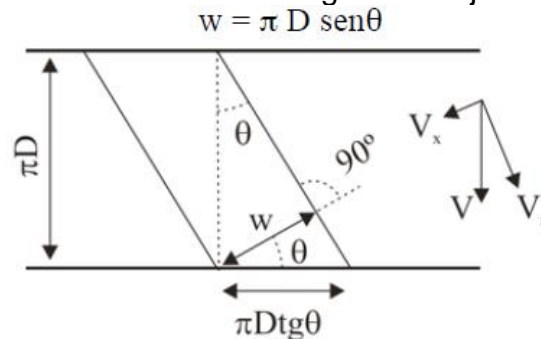
$$Q = \int_0^h w \cdot v \cdot dy = \int_0^h \frac{w \cdot V \cdot y}{h} dy + \int_0^h \frac{w \cdot y(y-h)}{2\eta} \left(\frac{dP}{dZ}\right) dy \quad (14)$$

Del cual se obtiene la ecuación (15).

$$Q = \frac{w \cdot V \cdot h}{2} - \frac{w \cdot h^3}{12\eta} \left(\frac{dP}{dZ}\right) \quad (15)$$

Al igual que la velocidad, el caudal del extrusor también está determinado por el flujo de arrastre y flujo de presión. Ahora bien, para obtener el modelo que permita dimensionar el extrusor, interesa escribir la ecuación (15) en función de las dimensiones del tornillo, con la notación de la *Figura 14*. Para esto se considera la geometría de la *Figura 15* que representa al tornillo cortado a lo largo de su eje Y desenrollado.

Figura 15. Tornillo cortado a lo largo de su eje Y desenrollado



Fuente: Tomado de [18], septiembre de 2016.

De la *Figura 15* se obtiene el ancho del canal (w) en términos de D y θ , ecuación (16); además, se identifica que la velocidad con que se mueve el cilindro sobre el tornillo tiene dos componentes que representan el movimiento del fluido dentro del canal; sin embargo, la componente responsable del avance del fluido es V_z y esta expresada por la ecuación (17).

$$w = \pi D \sin \theta \quad (16)$$

$$V_z = V \cos \theta = \pi D N \cos \theta \quad (17)$$

Si se desenrolla completamente el tornillo, se tiene la ecuación (18) que es la relación entre la longitud del cilindro (L) y la longitud total del canal del tornillo (Z), a lo largo del cual existe un gradiente de presión ($\frac{dP}{dz}$), que se puede expresar en términos de L y θ ; y considerando la caída de presión a lo largo del cilindro constante, se tiene la ecuación (19).

$$\frac{L}{Z} = \sin \theta \rightarrow dZ = \frac{dL}{\sin \theta} \quad (18)$$

$$\frac{dP}{dL} = cte = \frac{\Delta P}{L} \quad (19)$$

Sustituyendo (16), (17), (18) y (19) en la ecuación (15), se tiene el modelo que representa el comportamiento del tornillo del extrusor, ecuación (20).

$$Q = \frac{\pi^2 D^2 (\sin \theta \cos \theta) h N}{2} - \frac{h^3 \pi D \sin^2 \theta \Delta P}{12 \eta L} \quad (20)$$

Para obtener un modelo que represente el comportamiento global del extrusor se debe tener en cuenta el comportamiento de la boquilla y del tornillo. En la literatura se define el caudal que fluye a través de una boquilla, proporcional a la diferencia de presión y a la componente de forma del orificio de salida (k), como lo muestra la ecuación (21). Debido a que la boquilla del extrusor de PROESBIPAY es una circular sencilla, k se determina por la ecuación (22).

$$Q = k \frac{\Delta P}{\eta} \quad (21)$$

$$k = \frac{\pi R^4}{8 L} \quad (22)$$

Obtenidos los modelos (20) y (21), se concluye que el punto de operación del extrusor cumple que el caudal que pasa por el tornillo es igual al caudal que pasa por la boquilla.

5.1.3 Operación de cortado de espumado biodegradable

1. Describir el funcionamiento del equipo:

El equipo utilizado para realizar esta operación corresponde a un motor cuyo eje del rotor tiene instalada una cuchilla que se ubica a la salida de la boquilla del extrusor para cortar el cordón de espumado extruido en pellets de tamaño definido.

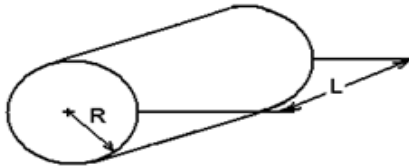
2. Identificar el tipo de fenómeno físico-químico:

Teniendo en cuenta que a la salida del extrusor se tendrá un caudal volumétrico constante de cordón espumado y que el área transversal de este se considera constante, se pueden obtener espumas de longitud deseada a partir de la velocidad de giro de la cuchilla con respecto a la velocidad que sale el cordón espumado del extrusor.

3. Definir un modelo:

Para definir el modelo de esta operación se considera la forma del espumado a la salida del extrusor como se muestra en la *Figura 16*. De esta manera, el flujo volumétrico del espumado está dado por la ecuación (23), de la cual, en el proceso se puede suponer que del diámetro del cordón (D) es constante en todas sus secciones, por lo tanto, es la longitud del espumado la que varía con el tiempo.

Figura 16. Geometría del cordón espumado



Fuente: Propia, septiembre de 2016.

Ahora bien, la velocidad de giro de la cuchilla se puede representar por la ecuación (24) y al reemplazarla en (23) y despejando N se obtiene la ecuación (25) que representa la revoluciones a las que gira la cuchilla para un flujo volumétrico, diámetro del cordón y longitud definidos.

$$Q = \frac{V}{t} = A_c \frac{L}{t} = \pi R^2 \frac{L}{t} = \frac{\pi D^2 L}{4 t} \quad (23)$$

$$N = \frac{1}{t} \quad (24)$$

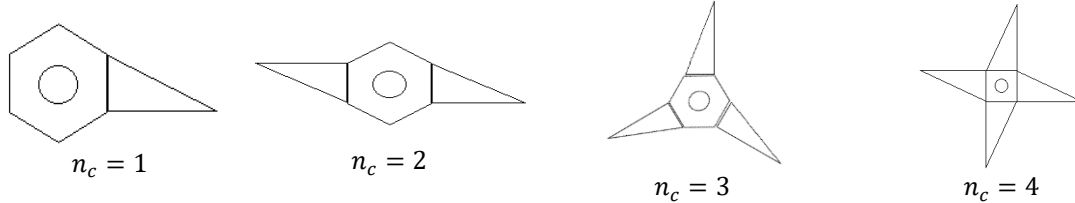
$$N = \frac{4 Q}{\pi L D^2} \quad (25)$$

Donde:

Q	: Flujo volumétrico a la salida del extrusor	L	: Longitud del cordón espumado
V	: Volumen del cordón de espumado	t	: Tiempo
A_c	: Área de la sección transversal del cordón espumado	R	: Radio del cordón espumado
N	: Revoluciones a las que gira la cuchilla	D	: Diámetro del cordón espumado

La ecuación (25) se puede expresar en términos de la longitud deseada de las espumas (L_e) frente al flujo Q y el diámetro que adopta el cordón espumado a la salida del extrusor (D_e). Además, se incluye un factor de forma (n_c) que depende de la configuración del número de cuchillas como se muestra en la *Figura 17*.

Figura 17. Configuración geométrica del número de cuchillas en el cabezal



Fuente: Propia, septiembre de 2016.

Finalmente se tiene el modelo de la cortadora representado por la ecuación (26).

$$N = \frac{4Q}{\pi L_e D_e^2 n_c} \quad (26)$$

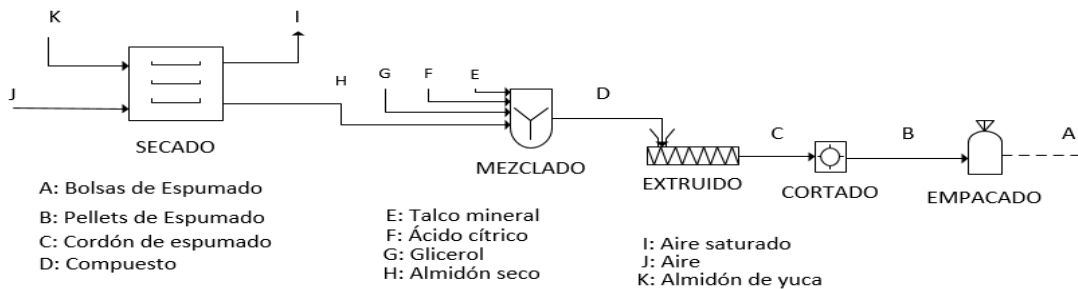
5.2 Unidad Productiva para Operaciones de PROESBIPAY

5.2.1 Determinación de modos y tiempos de ejecución

Determinación de los modos de operación de la línea

Considerando que la planta piloto trabajará en jornadas de 8 horas, para el análisis se toma como base una primera aproximación del PFD de PROESBIPAY planta piloto, la cual involucra cinco operaciones: Secado, Mezclado, Extruido, Cortado y Empacado, ver *Figura 18*.

Figura 18. Primera aproximación del PFD de PROESBIPAY planta piloto



Fuente: Propia, octubre de 2016.

Principalmente se debe definir el ciclo de control de la línea de producción que está ligado a la operación más lenta, para tomarla como referencia en el ajuste de las demás operaciones. En el caso de PROESBIPAY se toma como ciclo de control el

de la extrusión, pues a partir de esta se obtuvo la unidad productiva de laboratorio (3.368 kg/h) que se proyectó al nivel de planta piloto (16.84 kg/h) con un factor de escala de 5.

Como lo demuestra la *Figura 18*, la operación de secado prepara la principal materia prima de todo el proceso (almidón de yuca) y al igual que en el laboratorio, se desarrollara alrededor del equipo secador de bandejas que opera por lotes y requiere de un operario para ingresar y descargar material; sin embargo, el secado es un proceso lento y considerar reducir el tamaño de lote para ajustar su producción al ciclo de control, puede conllevar a la subutilización del equipo. Por lo tanto, se establece que la operación de secado trabaje con un lote de gran tamaño, correspondiente a la cantidad de almidón que se procesa en una jornada, es decir, que se secará la cantidad de almidón de yuca adecuada para producir la cantidad de almidón seco que se consumirá en la jornada siguiente.

La operación de mezclado debe trabajar de manera semiautomática y por los lotes; de lo contrario, involucraría la automatización completa de la operación para trabajar en modo continuo, lo que se refleja en una inversión injustificable debido a la baja unidad productiva del proceso, pues se trata de una planta piloto. A diferencia que en el laboratorio, en la planta piloto se realizará una sola operación de mezclado para obtener el compuesto 2, que de aquí en adelante se denominara simplemente "Compuesto", puesto que esta se ejecutará en la misma jornada en la que se desarrolla la extrusión. El tamaño del lote debe ser pequeño con el fin de evitar que el compuesto se esponga al ambiente por mucho tiempo, debido a las propiedades higroscópicas del almidón (absorción de humedad).

Las operaciones extruido y cortado, por su funcionamiento, operarán en modo continuo, de manera automática y cuasi paralela, pues las operaciones subsiguientes a la extrusión empiezan a trabajar a medida que sale material del extrusor. La operación de empaclado, cuya salida es discreta debido a que se obtiene como producto final, espumas en bolsas de diferentes presentaciones (5 a 10 kg). Debido a la baja densidad de las espumas, el volumen de las bolsas llenas será de 0.2 a 0.5 m^3 aproximadamente, esto implicaría complejidad y consumo de mucho espacio para un sistema automatizado, por lo tanto se determina que el sistema de embalaje será semiautomático y por lotes. El tamaño de lote se define más adelante en la distribución de tiempos de operación.

A modo de resumen, se organiza la información en la *Tabla 17* indicando el modo de operación, el tamaño del lote y el nivel de automatización de cada operación.

Tabla 17. Modos de operación de PROESBIPAY planta piloto

Operación	Modo de operación	Tamaño del lote	Nivel de automatización
Secado	Batch	Grande	Semiautomático
Mezclado	Batch	Pequeño	Semiautomático
Extrusión	Continuo	16.84 kg/h	Automático
Cortado	Continuo	16.84 kg/h	Automático
Empacado	Batch	Por definir	Semiautomático

Fuente: Propia, octubre de 2016.

Distribución de tiempos de operación⁶

La siguiente distribución de tiempos para PROESBIPAY planta piloto se realizó teniendo como objetivo que la línea de producción pueda ser manejada por un solo operario; además, con la información obtenida del análisis de los modos de operación de la línea (ver *Tabla 17*), se logró llegar a la distribución representada por el diagrama de Gantt de la *Tabla 18*, para una jornada de 8 horas.

Tabla 18. Distribución de tiempos de operación de PROESBIPAY planta piloto

Id	Operación	Duración [h]	Inicio [h]	Fin [h]	Tiempo [h]							
					0	1	2	3	4	5	6	7
1	Secado*	7.5	0.0	7.5	[Barra amarilla desde 0.0 hasta 7.5]							
2	Mezclado*	6.0	1.0	7.0	[Barra naranja desde 1.0 hasta 7.0]							
3	Extrusión	6.0	1.5	7.5	[Barra azul desde 1.5 hasta 7.5]							
4	Cortado	6.0	1.5	7.5	[Barra verde desde 1.5 hasta 7.5]							
5	Empacado*	0.5	7.5	8.0	[Barra gris desde 7.5 hasta 8.0]							

Fuente: Propia, octubre de 2016.

De acuerdo a las especificaciones del punto anterior, la operación de secado queda configurada para producir un lote grande por jornada, correspondiente a la cantidad de almidón seco que se utilizará al día siguiente (ver *Tabla 18*). Esta operación se conforma de tres acciones de proceso secuenciales: Primero, “Cargar horno” que involucra por parte de un operario, pesar la cantidad de almidón de yuca que se desea secar, distribuirlo en bandejas metálicas cuidadosamente, ingresarlas al horno y programar los parámetros de secado; debido a su complejidad, para esta acción se estima una duración de 1 hora. Como segunda acción se tiene “Secar” que es el proceso realizado por el horno para disminuir la humedad del almidón; se asigna una duración de 6 horas considerando que en la última hora de la jornada, el operario deberá realizar otras actividades. En la tercera acción, “Descargar horno”, el operario retira las bandejas del horno y deposita el almidón seco en recipientes herméticos por su carácter higroscópico; su duración se estima de media hora, pues no implica mayor complejidad. Esta descripción queda demostrada en el diagrama de la *Tabla 19*.

⁶ Las acciones de proceso en los diagramas de Gantt de cada operación de PROESBIPAY marcadas con * requieren de la intervención de un operario para ser llevadas a cabo.

Tabla 19. Distribución de tiempos de la operación de secado

Id	Acciones	Duración [h]	Inicio [h]	Fin [h]	Tiempo [h]								
					0	1	2	3	4	5	6	7	
1	Secado	7.5	0.0	7.5									
1.1	Cargar horno*	1.0	0.0	1.0									
1.2	Secar	6.0	1.0	7.0									
1.3	Descargar horno*	0.5	7.0	7.5									

Fuente: Propia, octubre de 2016.

La operación de mezclado requiere de la constante intervención de un operario, por lo tanto, se debe ejecutar durante las 6 horas, paralelo a la segunda acción de la operación de secado, puesto que en este periodo el operario estará libre (ver *Tabla 17*). Sin embargo, como se indica en la *Tabla 17*, el tamaño del lote debe ser pequeño para reducir el tiempo de permanencia del compuesto en la tolva de alimentación del extrusor; teniendo en cuenta que este tiempo debe ser igual a la duración de la operación de mezclado para evitar embotellamientos y tomando como base los tiempos de mezclado en el laboratorio, se determina que una duración de 30 minutos es adecuada para el proceso. Esta operación se compone de 6 acciones de proceso organizadas como lo muestra el diagrama de la *Tabla 20*: las acciones “agregar material” representan el pesaje e ingreso al mezclador de los materiales mencionados; la acción “mezclar” es realizada por el equipo mezclador para distribuir homogéneamente los materiales ingresados y la acción “Descargar” implica descargar el compuesto del mezclador e ingresarlo a la tolva de alimentación del extrusor. De acuerdo a lo mencionado, se identifica que en una jornada se producen 12 lotes de compuesto (ver *Tabla 18*).

Tabla 20. Distribución de tiempos de la operación de mezclado para un lote

Id	Acciones	Duración [min]	Inicio [min]	Fin [min]	Tiempo [min]						
					60	65	70	75	80	85	
2	Mezclado	30	60	90							
2.1	Agregar almidón seco*	5	60	65							
2.2	Agregar ácido cítrico*	5	65	70							
2.3	Mezclar	15	70	85							
2.4	Agregar glicerol*	5	70	75							
2.5	Agregar talco mineral*	5	75	80							
2.6	Descargar*	5	85	90							

Fuente: Propia, octubre de 2016.

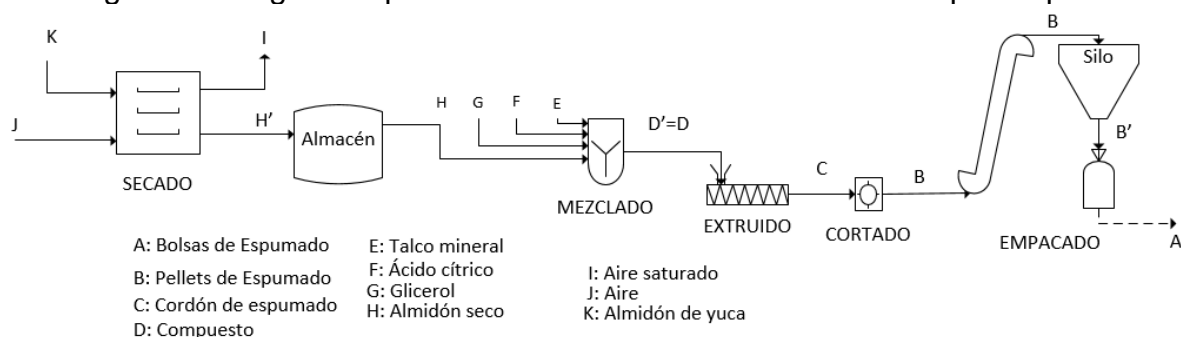
A diferencia de las anteriores operaciones; el extruido y cortado al operar de modo continuo y automático, solo realizan una acción de proceso (la que les da el nombre); además, al trabajar de manera cuasi paralela, iniciarán a partir del primer lote de compuesto producido en la jornada y terminarán 30 minutos después del último lote producido (ver *Tabla 18*).

En cuanto a la operación de empaqueo, inicialmente se pensó en comenzar su marcha apenas salieran espumas de la operación de cortado; sin embargo, como

la tasa de producción es de 16.84 kg/h , el tiempo para obtener una bolsa de 5 kg de espumado sería de 18 minutos aproximadamente, lo cual es un periodo demasiado extenso comparado con procesos de embalaje ya implementados en los que este tiempo no supera el minuto [22]. Así pues, se determina que la operación de empacado se realice al final de la jornada cuando la producción haya culminado, de esta manera se tendrá todo el espumado listo a la hora de empacar (ver *Tabla 18*). Con la unidad productiva y el tiempo de operación del extrusor se identifica que en un jornada se producirán 101.04 kg de espumado biodegradable y por tanto 20.21 bolsas de 5 kg , lo cual significa que para empacar todo en 30 minutos se deberá empacar una bolsa cada 1.5 minutos aproximadamente, tiempo suficiente para desarrollar el proceso. Con este análisis también se identifica la necesidad de un depósito o silo para almacenar el espumado durante la producción.

Finalmente, el análisis de la unidad productiva comienza desde la última operación y termina en la primera de la línea de producción, aquí se tiene en cuenta que el flujo de alimentación (entrada) de cada operación debe ser igual al flujo de producción (salida) de su antecesora, con el fin de evitar que en el proceso ocurran embotellamientos o faltas de material; también es importante analizar los puntos en los que no se sigue este planteamiento, para identificar posiblemente la necesidad de incluir áreas de almacenamiento. En el caso de la planta piloto de PROESBIPAY es necesario almacenar la cantidad de almidón seco producido en la operación de secado y los pellets de espumado biodegradable que se producen a lo largo de la jornada para que al final de esta puedan ser empacados con agilidad. Por lo tanto, antes de calcular las unidades productivas, se actualiza la primera aproximación del PFD de PROESBIPAY planta piloto al diagrama de la *Figura 19*.

Figura 19. Segunda aproximación del PFD de PROESBIPAY planta piloto



Fuente: Propia, octubre de 2016.

5.2.2 Operación de empacado

Con base a los análisis realizados en 1.2.1, el tamaño del lote para esta operación corresponde al tipo de presentación del empaque; por lo que para una bolsa de 5 kg , el lote de material entrante será esa misma cantidad. De acuerdo a la unidad productiva deseada y a los tiempos de operación (ver *Tabla 17* y *Tabla 18*), la

producción total de la jornada será de 101.04 *kg* de pellets de espumado y por tanto 20.208 bolsas de 5 *kg* (número de lotes en la jornada). Ya que esta operación se realizará en 30 minutos de la jornada, el tiempo de cada lote será de 1.5 minutos.

Como el embalaje se realizará al final de la jornada, es necesario almacenar la producción de pellets de espumado, por lo que se propone utilizar un silo flexible que serviría como tolva de alimentación para el equipo de embalaje (ver *Figura 20*).

Figura 20. Silo flexible en lona para pellets



Fuente: Tomado de [23], octubre de 2016.

La capacidad del silo debe ser adecuada para almacenar los 101.04 *kg* de pellets de espumado y para calcular el volumen de esta cantidad se debe conocer la densidad aparente de los pellets de espumado; sin embargo, las densidades inicialmente contempladas corresponden a una de las pruebas en la investigación de PROESBIPAY, por lo tanto se hizo la estimación de la densidad aparente del producto ideal que los investigadores desean obtener (densidad absoluta de 80 *kg/m*³).

Primero, se tomó una muestra de espumado de una de las pruebas y se midió su volumen absoluto ($V_{AbM} = 2.908 * 10^{-5} m^3$); en seguida, se cortó la muestra en forma de pellets similares a la presentación final del producto en el proceso para medir el volumen aparente que ocupan los pellets en un recipiente ($V_{ApM} = 8.5 * 10^{-5} m^3$). Finalmente, con el volumen absoluto de la muestra y la densidad absoluta deseada (ρ_{AbD}), se calcula la masa que tendría el espumado deseado (m_D), ecuación (27); así pues, con la masa del espumado deseado, el volumen aparente de la muestra y despreciando la masa del aire, se obtiene que la densidad aparente de los pelles de espumado deseados (ρ_{ApD}) será de 27.37 *kg/m*³, ecuación (28).

$$m_D = \rho_{AbD} * V_{AbM} = 80 \frac{kg}{m^3} * 2.908 * 10^{-5} m^3 = 2.3264 * 10^{-3} kg \quad (27)$$

$$\rho_{ApD} = \frac{m_D}{V_{ApM}} = \frac{2.3264 * 10^{-3} kg}{8.5 * 10^{-5} m^3} = 27.37 kg/m^3 \quad (28)$$

$$V_{\text{silos}} = \frac{101.04 \text{ kg}}{27.37 \text{ kg/m}^3} * 1.1 = 4 \text{ m}^3 \quad (29)$$

Conocida la densidad aparente de los pellets y considerando un factor de seguridad de 10%, se identifica que la capacidad volumétrica de almacenamiento del silo debe ser de 4 m^3 , ecuación (29).

5.2.3 Operación de extruido y cortado

Considerando los modos de operación de la línea y el funcionamiento de los equipos principales, se identifica que las operaciones de extrusión y corte, al tener un solo flujo de entrada y de salida, además de no generar cambios apreciables en la masa del material durante el proceso, se concluye que su unidad productiva deberá ser de 16.84 kg/h , cumpliendo la ecuación (30).

$$D = C = B = 16.84 \text{ kg/h} \quad (30)$$

5.2.4 Operación de mezclado

Para la operación de mezclado, el tamaño del lote (D') deberá ser tal que para un periodo específico, proporcione un flujo pulsante igual al flujo de alimentación de la extrusión. Ya que la duración del lote será de 30 minutos y el flujo de alimentación de la extrusión (D) de 16.84 kg/h , la cantidad de compuesto que se debe producir en un lote de mezclado, será de 8.42 kg , como resultado de la ecuación (31).

$$D' = D * t_{\text{mezclado}} = 16.84 \text{ kg/h} * 0.5 \text{ h} = 8.42 \text{ kg} \quad (31)$$

Aplicando balance de masas a la operación de mezclado se tiene la ecuación(32):

$$D' = E + F + G + H \quad (32)$$

De acuerdo a las especificaciones de fase de las operaciones de mezclado del MCP de PROESBIPAY laboratorio, se tiene una relación 70:30 de almidón seco con respecto al glicerol, representada por la ecuación (33). Además, la cantidad de ácido cítrico representa el 0.5% de la cantidad de almidón seco y el talco mineral el 0.2%, indicadas por las ecuaciones (34) y (35), respectivamente.

$$H = 0.7(H + G) \quad (33)$$

$$F = 0.005 * H \quad (34)$$

$$E = 0.002 * H \quad (35)$$

Al reemplazar (33), (34), (35) en (32) y despejando H , se tiene la ecuación (36).

$$H = \frac{D'}{\frac{1}{0.7} + 0.005 + 0.002} \quad (36)$$

Reemplazando la cantidad de compuesto en la ecuación (36), se tiene la cantidad de almidón seco necesario para un lote y al reemplazar este valor en (33), (34) y (35), se obtienen las cantidades de glicerol, ácido cítrico y talco mineral por lote. El volumen de producción para el equipo mezclador se calcula con base al volumen de compuesto por lote producido y se tiene en cuenta el factor de seguridad del 10%; este volumen también representa el volumen mínimo que debe tener la tolva de alimentación del extrusor. Los resultados se listan en la *Tabla 21*.

Tabla 21. Unidad productiva para la operación de mezclado

Entrada		Volumen [m3]	Tiempo [min]	Salida	
Material	kg/lote			Material	kg/lote
Almidón seco	5.865	0.0207	30	Compuesto	8.42
Glicerol	2.514				
Ácido cítrico	0.029				
Talco mineral	0.012				

Fuente: Propia, septiembre de 2016.

5.2.5 Operación de secado

Como se demuestra en la *Tabla 18*, en una jornada de producción se ejecutan 12 lotes de mezclado; por lo tanto, la cantidad de almidón seco que debe producir la operación de secado será 70.38 kg, como resultado de la ecuación (37).

$$H' = H * n_{lotes} = 5.865 \text{ kg} * 12 = 70.38 \text{ kg} \quad (37)$$

Teniendo en cuenta que el objetivo de esta operación es reducir el porcentaje de humedad del almidón de yuca de 12.8% a menos o igual al 1% mediante un flujo de aire caliente, se procede a calcular la cantidad de almidón de yuca necesaria para obtener 70.38 kg de almidón seco. Aplicando el balance de masa para el almidón y teniendo en cuenta que la masa de almidón puro (K_p) no varía durante el proceso, su valor es 92.664 kg como resultado de la ecuación (38).

$$K_p = 0.872 * K = 0.99 * H' = 0.99 * 70.38 \text{ kg} = 69.68 \text{ kg} \quad (38)$$

$$K = K_p / 0.872 = 69.68 \text{ kg} / 0.872 = 79.9 \text{ kg}$$

Despejando K de la ecuación (38), se tiene que la cantidad necesaria de almidón de yuca a secar será de 79.9 kg para cubrir la producción de una jornada. La masa perdida del almidón en el secado, es de 9.53 kg como resultado de la ecuación (39), esta representa la cantidad de agua que se debe retirar del almidón y es relevante para calcular parámetros del proceso.

$$m_{ev} = K - H' = 79.9 \text{ kg} - 70.38 \text{ kg} = 9.53 \text{ kg} \quad (39)$$

5.2.6 Resumen flujos de alimentación y producción de PROESBIPAY planta piloto

Finalmente, la información obtenida se organiza en la *Tabla 22*, indicando los flujos de alimentación y producción de cada operación de la planta piloto de PROESBIPAY, el tiempo y volumen que ocupan los materiales para los procesos que operan por lotes, incluyendo las áreas de almacenamiento.

Tabla 22. Unidad productiva por operaciones de PROESBIPAY planta piloto

Operación	Entrada			Vol. [m^3]	t [min]	Salida		
	Material	Valor	Unidad			Material	Valor	Unidad
Secado	K	79.9	$kg/lote$	0.167	360	H'	70.38	$kg/lote$
Almacenamiento	H'	70.38	kg	0.142		H	5.865	kg
Mezclado	H	5.865	$kg/lote$	0.0207	30	D'	8.42	$kg/lote$
	G	2.514						
	F	0.029						
	E	0.012						
Extrusión	D	16.84	kg/h	0.0207^7		C	16.84	kg/h
Corte	C	16.84	kg/h			B	16.84	kg/h
Silo	B	16.84	kg/h	4	360	B'	5	kg
Embalaje	B'	5	$kg/lote$		1.5	A	1	$und/lote$

Fuente: Propia, octubre de 2016.

5.3 Modificación Cuantificada de Variables Principales de PROESBIPAY

Conocidos los requerimientos de producción para la planta piloto de PROESBIPAY (ver *Tabla 22*), se procede a calcular los parámetros y condiciones que deben cumplir los equipos en la nueva escala. A continuación se presentan los cálculos para las tres (3) operaciones más críticas que se ha venido estudiando.

⁷ Corresponde al volumen que ocupará el compuesto en la tolva de alimentación del extrusor.

5.3.1 Operación de secado de almidón de yuca

Los requerimientos de producción obtenidos en la sección 5.2 que deben cumplir la planta piloto de PROESBIPAY para esta operación, se listan en la *Tabla 23* y se simbolizan de acuerdo a su variable en el modelo de la ecuación (7).

Tabla 23. Requerimientos para la operación de secado en la planta piloto

Requerimiento	Símbolo	Valor
Almidón de yuca a secar	m_A	79.9 kg
Cantidad de agua a retirar del almidón de yuca	m_{ev}	9.53 kg
Temperatura de secado (del aire)	T_a	80 °C
Temperatura del almidón de yuca	T_A	25 °C
Tiempo de secado	t	6 h

Fuente: Propia, septiembre de 2016.

Como lo demuestran los modelos del proceso de secado, ecuación (7) y (5), el comportamiento de este depende en gran medida de las propiedades físicas del aire y del almidón de yuca, las cuales se obtienen de tablas de termodinámica [17,24]. Sin embargo, el calor específico del almidón de yuca (Cp_A) es desconocido, por lo que se calculó teóricamente por el método de Choi & Okos, el cual propone calcular el calor específico de un sólido o líquido a partir de correlaciones de sus componentes (proteínas, grasas, carbohidratos, fibras, cenizas y agua) [25]. El almidón de yuca evaluado corresponde al proveniente de la empresa Almidones de Sucre S.A.S que es utilizado en PROESBIPAY laboratorio, cuya composición es: 87% carbohidratos, 0.2% cenizas y 12.8% agua. Es importante aclarar que las propiedades físicas dependen de la temperatura y varían en el proceso; por lo que se evalúan con base a la temperatura media o de película ($\frac{T_a+T_A}{2} = 52.5^\circ$) [13,14]. La aplicación del método de Choi & Okos se realizó con el apoyo de la herramienta Matlab, para tener un mejor acercamiento, puede dirigirse al Anexo digital I (Metodo_CHOI_&_OKOS_Prop_Fisicas). Las propiedades físicas obtenidas se muestran en la *Tabla 24*.

Tabla 24. Propiedades físicas del aire y el almidón de yuca a 52.5 °C

Propiedad física	Símbolo	Valor	Unidades
Calor específico del almidón de yuca a secar	Cp_A	1961.7	J/kg K
Calor latente de evaporación del agua	ΔH_V	2383	KJ/kg
Conductividad térmica del aire	k	0.02735	W/m K
Viscosidad cinemática del aire	ν	1.798e-5	m ² /s
Número de Prandtl para el aire	Pr	0.7228	

Fuente: Propia, Octubre de 2016.

Ahora bien, el área superficial de transferencia de calor será el área ocupada por el almidón en las bandejas, que tiene contacto directo con el flujo de aire, por lo tanto, para un espesor (esp_b) de 3 cm de almidón en las bandejas y utilizando la densidad aparente y la masa de almidón a secar, el área se determina por la ecuación (40),

dando como resultado una área de 5.56 m^2 ; el área total de los estantes del horno deberá ser mayor que este valor para garantizar que el almidón se puede ingresar correctamente.

$$A_S = \frac{m_A}{\rho_A * esp_b} = \frac{79.9 \text{ kg}}{479.125 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.03 \text{ m}} = 5.56 \text{ m}^2 \quad (40)$$

Los siguientes cálculos dependen mucho de las dimensiones de la cámara interna del horno y de las bandejas, además en el mercado existen equipos con variedad de dimensiones; por lo tanto, para el ejercicio se tomó un valor promedio a partir de equipos comerciales que superen los 5.56 m^2 en el área total de sus estantes. Las dimensiones obtenidas se listan a continuación (*Tabla 25*):

Tabla 25. Dimensiones promedio de la cámara interna de un horno y de bandejas

Elemento	Ancho (An)[m]	Fondo (F)[m]	Alto (Al)[m]
Cama interna del horno	1.11	0.6	1.2
Bandejas metálicas	0.54	0.55	0.03

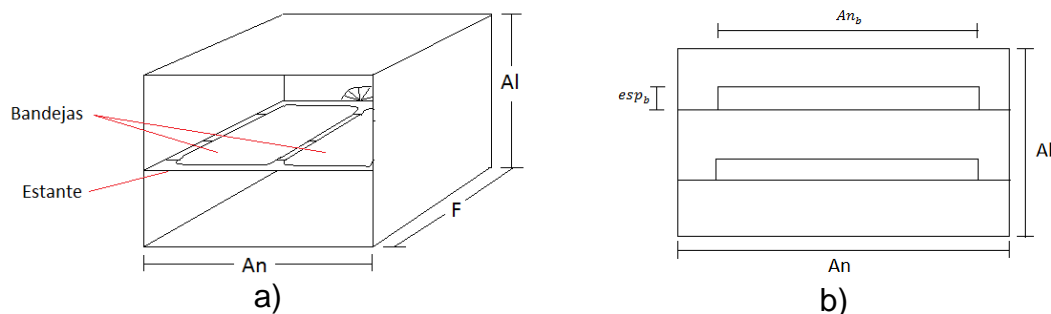
Fuente: Propia, octubre de 2016.

Para un equipo con las dimensiones de la *Tabla 25*, se identifica que en cada uno de sus estantes alcanzarán dos bandejas como se indica en la *Figura 21a*, por lo tanto para el proceso se ocuparán 10 estantes y 19 bandejas, este cálculo se demuestra en la ecuación (41). Como el número de bandejas debe ser entero, se redondea al valor superior, esto quiere decir que se adiciona otra bandeja y se distribuye el almidón con un espesor un poco menor a los 0.03 m; en el caso de los estantes, resulta que en uno de ellos solo habrá una bandeja.

$$n_{bandejas} = \frac{A_S}{A_{bandeja}} = \frac{5.56 \text{ m}^2}{0.54 \text{ m} * 0.55 \text{ m}} = 18.72 \approx 19 \quad (41)$$

$$n_{Estantes} = \frac{n_{bandejas}}{2} = \frac{19}{2} = 9.5 \approx 10$$

Figura 21. Cámara interna del horno de convección forzada
a). Dimensiones b). Vista frontal



Fuente: Propia, octubre de 2016.

Conocida el área de transferencia de calor, se puede calcular la tasa de evaporación por unidad de área que cumplirá esta operación de secado, ecuación (42).

$$ev = \frac{m_{ev}}{A_S t} = \frac{9.53 \text{ kg}}{5.56 \text{ m}^2 * 6 \text{ h}} = 0.286 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{h}} \quad (42)$$

De la ecuación (7), se resuelve la expresión de la derecha, la cual indica la tasa de calor (\dot{Q}_A) que se debe aplicar al almidón para evaporar 9.53 kg de agua en 6 horas, ecuación (43).

$$\dot{Q}_A = \frac{m_A}{t} C p_A (T_a - T_A) + \frac{m_{ev}}{t} \Delta H_V$$

$$\dot{Q}_A = \frac{79.9 \text{ kg}}{6 \text{ h}} * 1961.7 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} * (80 - 25)^\circ \text{C} + \frac{9.53 \text{ kg}}{6 \text{ h}} * 2383 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \quad (43)$$

$$\dot{Q}_A = 5221780.108 \frac{\text{J}}{\text{h}} = 1450.494 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

Generalmente se estima que la energía o calor disipado por perdidas en equipos de transferencia de calor como los hornos, es aproximadamente la mitad de la energía total entregada por el equipo; por lo tanto, para este caso se consideró que la eficiencia de transferencia térmica del horno es del 50%. Así, la tasa de calor que entrega el aire tanto al almidón como a las paredes del horno debe ser de 2900.989 J/s, como resultado de la ecuación (44).

$$\eta = \frac{\dot{Q}_A}{\dot{Q}_a} \quad (44)$$

$$\dot{Q}_a = \frac{\dot{Q}_A}{\eta} = \frac{1450.494 \text{ J/s}}{0.5} = 2900.989 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

Ahora, para determinar los parámetros del flujo de aire. Primero se calcula el valor que debe tener el coeficiente de convección, despejando h de (7), ecuación (45).

$$h = \frac{\dot{Q}_a}{A_S (T_a - T_A)} \quad (45)$$

$$h = \frac{2900.989 \text{ J/s}}{5.56 \text{ m}^2 * (80 - 25)^\circ \text{C}} = 9.486 \frac{\text{J}}{\text{s m}^2 \text{ }^\circ \text{C}}$$

Como lo demuestra el modelo (5), el sistema depende de la longitud de ataque del fluido, esto es, la longitud de la superficie por la que circula y por tanto la longitud de las bandejas en la dirección que circula el aire (L); de esta manera, y acorde con la *Tabla 25*, el valor de L será de 0.55 m considerando que el flujo de aire va desde la cara frontal del horno hacia el fondo. Por lo tanto solo queda calcular la velocidad del aire a partir de la ecuación (46).

$$Nu = \frac{hL}{k} = 0.664 \left(\frac{VL}{\nu} \right)^{1/2} Pr^{1/3} \quad (46)$$

Reemplazando los valores de cada variable de la ecuación (46), se tiene como única variable desconocida a la velocidad del aire, ecuación (47).

$$Nu = \frac{9.486 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 0.55\text{ m}}{0.02735 \frac{W}{m \cdot K}} = 0.664 * Re^{1/2} * (0.7228)^{1/3}$$

$$Nu = 190.76 = 0.5959 * Re^{1/2} \quad (47)$$

$$Re = 102477.343 = \frac{V * L}{\nu}$$

$$V = \frac{102477.343 * 1.798 * 10^{-5} m^2/s}{0.55\text{ m}} = 3.35\text{ m/s}$$

Como resultado se tiene que para bandejas con una longitud de 0.55 m se debe aplicar aire a una velocidad de 3.35 m/s , además, se cumple que este flujo es laminar y por tanto no moverá bruscamente al almidón en las bandejas. Conocida esta velocidad es posible calcular el flujo volumétrico de aire (\dot{V}) que es el producto de la velocidad (V) por el área de sección transversal por la que circula (A_{ST}), ecuación (49); de esta manera, el área A_{ST} será la resta entre el área en vista frontal de la cámara interna del horno y de las bandejas (ver *Figura 21b*), ecuación (48).

$$A_{ST} = (An * Al) - (esp_b * An_b * n_{bandejas}) \quad (48)$$

$$A_{ST} = (1.11\text{ m} * 1.2\text{ m}) - (0.03\text{ m} * 0.54\text{ m} * 19) = 1.024\text{ m}^2$$

$$\dot{V} = V * A_{ST} = 3.35 \frac{m}{s} * 1.024\text{ m}^2 = 3.43 \frac{m^3}{s} \quad (49)$$

A continuación se muestra la *Tabla 26* con el resumen de los parámetros obtenidos del equipo secador que facilitan los criterios de selección y configuración del nuevo equipo para la planta piloto.

Tabla 26. Requerimientos para el secador en la planta piloto

Parámetro	Valor	Unidad
Carga	79.9	kg
Área mínima total de los estantes	5.56	m ²
Número de bandejas	19	
Número de estantes mínimo	10	
Tasa de evaporación por unidad de área	0.286	kg/m ² h
Temperatura de secado	80	°C
Longitud de la bandeja	0.54	m
Espesor de las bandejas	0.03	m
Ancho de las bandejas	0.55	m
Transferencia de calor del aire	2900.989	J/s
Eficiencia de transferencia de calor	50	%
Coefficiente de convección	9.486	W/m ² °C
Velocidad de circulación del aire	3.35	m/s
Flujo volumétrico de aire	3.43	m ³ /s

Fuente: Propia, octubre de 2016.

5.3.2 Operación de extruido de compuesto

A partir de los modelos (20), (21) y (22), se calculan las dimensiones del equipo extrusor y las condiciones del proceso para garantizar la producción de 16.84 kg de espumado biodegradable por hora para la planta piloto de PROESBIPAY. Antes de iniciar, es necesario expresar el flujo de producción del extrusor en términos de flujo volumétrico; de esta manera, con la densidad del material (390 kg/m³), 16.84 kg/h equivalen a 0.0432 m³/h y será este el punto de operación deseado para el nuevo extrusor.

Tomando como base las características de operación del extrusor en laboratorio mostradas en la Tabla 27, se identifican las variables que conviene modificar para satisfacer el requerimiento de la planta piloto.

Tabla 27. Parámetros del extrusor de PROESBIPAY laboratorio

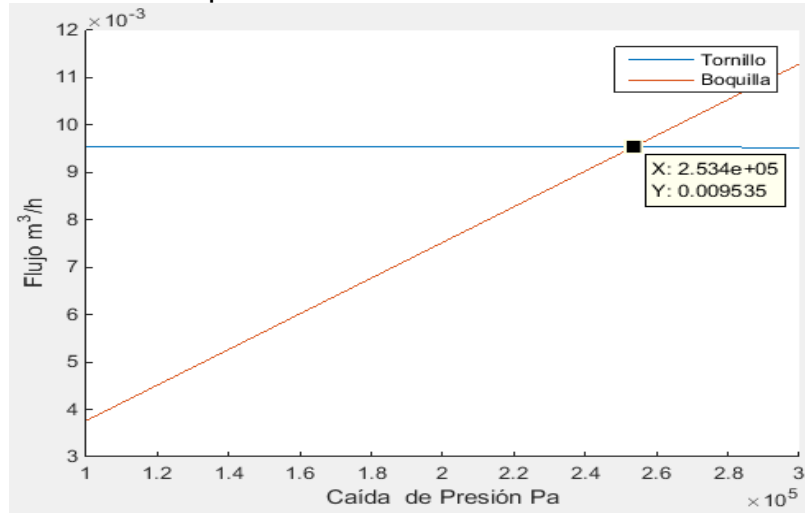
Variable	Símbolo	Valor	Unidad
Diámetro del tornillo	D	0.01892	m
Profundidad del canal del tornillo	h	0.00187	m
Ángulo del filete del tornillo respecto a la vertical	θ	20	°
Longitud del cilindro	L	0.508	m
Velocidad de giro del tornillo	N	150	rpm
Viscosidad del polímero fundido en la zona de dosificación	η	300	kg/m s
Radio del orificio de la boquilla o dado del extrusor	R	0.00293	m
Longitud del orificio de la boquilla o dado del extrusor	L_b	0.00923	m

Fuente: Propia, octubre de 2016.

Con la ayuda de la herramienta Matlab y los modelos del tornillo y boquilla, (20) y (21), se obtiene la recta operativa del extrusor del laboratorio (ver Figura 22), la cual demuestra que su punto de operación es 3.72 kg/h (0.009535 m³/h) y al compararlo

con el flujo de salida del extrusor tomado directamente del laboratorio (3.368 kg/h), se tiene que el error de predicción de los modelos es de 10.45%, que se considera aceptable. Sin embargo, es importante aclarar que el error obtenido puede ser consecuencia, en parte por el hecho de que el modelo no tiene en cuenta que en la zona de dosificación, el agente espumante se descompone y genera gas que puede aumentar el flujo de presión y por tanto disminuir el flujo de salida del extrusor.

Figura 22. Punto de operación del extrusor de PROESBIPAY laboratorio



Fuente: Propia, octubre de 2016.

De acuerdo al análisis de variables, para tener las mismas características del producto del laboratorio, será necesario que la viscosidad del polímero fundido (η) sea la misma para la planta piloto, esto también implica mantener el perfil de temperaturas y la velocidad de giro del tornillo (N), debido a su dependencia a la temperatura y los esfuerzos de cizalla. También es conveniente tener una relación (L/h) alta para que el caudal del extrusor sea estable y permita operar con diferentes boquillas. Considerando lo mencionado y teniendo en cuenta que el punto de operación que predicen los modelos está por encima del 10.45% del punto real, si se modela el extrusor para el punto de operación deseado, se corre el riesgo de que en la implementación real, el extrusor opere por debajo de este valor; por lo tanto, se evaluará el modelo del tornillo, (20), de manera que el flujo de arrastre (Q_A) sea igual al flujo real deseado más el 10.45%, como se muestra en (50), esto con el objeto de incluir los efectos del agente espumante al modelo.

$$Q_A = Q * 1.1045 = 0.0432 \frac{m^3}{h} * 1.1045 = 0.04771 \frac{m^3}{h} \quad (50)$$

Como punto de partida, se calcula el diámetro del tornillo (D) para el flujo de arrastre obtenido, ecuación (51), ya que este parámetro tiene mayor influencia sobre el flujo extruido sin afectar las características del producto.

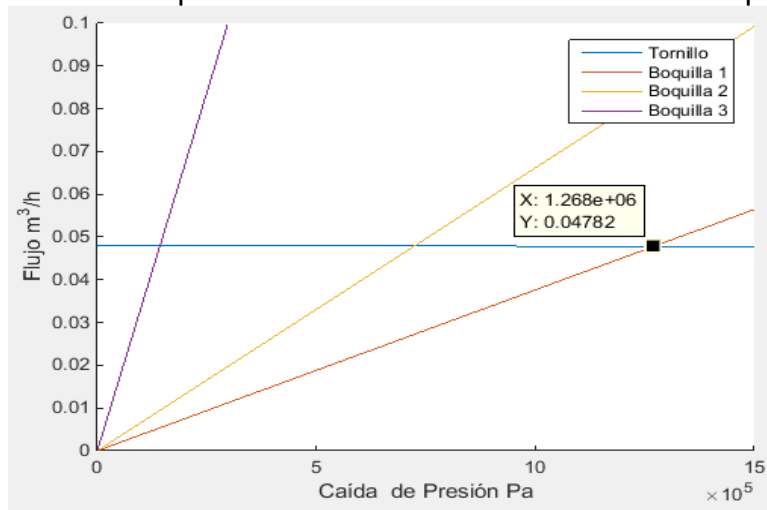
$$Q_A = \frac{\pi^2 D^2 (\sin \theta \cos \theta) h N}{2}$$

$$0.04771 \frac{m^3}{h} = 1.3253 * 10^{-5} \frac{m^3}{s} = \frac{\pi^2 D^2 (\sin 20^\circ \cos 20^\circ) 0.002 m 2.5 \frac{1}{s}}{2} \quad (51)$$

$$D = \sqrt{\frac{2 * 1.3253 * 10^{-5} m^3/s}{\pi^2 (\sin 20 \cos 20) 0.002 m 2.5 rps}} = 0.04088 m$$

A partir de estos datos y manteniendo las mismas dimensiones de la boquilla, se ajustan el diámetro del tornillo (D) y su longitud (L) para que el punto de operación del extrusor sea igual a $0.04771 m^3/h$. Como resultado del ajuste, se obtienen las rectas operativas (tornillo y boquilla 1) mostradas en la *Figura 23* (ver Anexo digital J, "Modelo_Matematico_Extrusor"), representadas por los parámetros de la *Tabla 28*, cuyo punto de operación es de $0.04782 m^3/h$. En la gráfica también se demuestra que el tornillo dimensionado puede operar con boquillas de diferentes tamaños sin afectar considerablemente el punto de operación del extrusor.

Figura 23. Punto de operación del extrusor de PROESBIPAY planta piloto



Fuente: Propia, octubre de 2016.

Teniendo en cuenta que el extrusor fue dimensionado para compensar los efectos que puede generar el agente espumante sobre su punto de operación, la diferencia entre el punto de operación modelado (PO_m) y el punto de operación real que se desea (PO_d), deberá estar cerca del 10.45% del punto de operación deseado para garantizar que en la implementación real, el punto de operación del extrusor será cercano al deseado ($0.0432 m^3/h$). Esto se comprueba en la ecuación (52).

$$\% \Delta PO = \frac{PO_m - PO_d}{PO_d} * 100\% \quad (52)$$

$$\% \Delta PO = \frac{(0.04782 - 0.0432) m^3/h}{0.0432 m^3/h} * 100\% = 10.69 \%$$

Por lo que el punto de operación real (PO_{real}) puede ser expresado por (53):

$$PO_{real} = PO_m - 0.1045 * PO_d \quad (53)$$

$$PO_{real} = (0.04782 - 0.1045 * 0.0432) m^3/h = 0.0433 m^3/h$$

El punto de operación real será aproximadamente de $0.0433 m^3/h$ que equivalen a $16.88 kg/h$. Lo anterior demuestra que los parámetros listados en la *Tabla 28* se pueden considerar como los requerimientos que deberá cumplir el extrusor en la planta piloto de PROESBIPAY.

Tabla 28. Requerimientos para el extrusor de PROESBIPAY planta piloto

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Diámetro del tornillo	D	0.041	m
Profundidad del canal del tornillo	h	0.002	m
Ángulo del filete del tornillo respecto a la vertical	θ	20	$^\circ$
Longitud del cilindro	L	0.9	m
Velocidad de giro del tornillo	N	150	rpm
Viscosidad del polímero fundido en la zona de dosificación	η	300	$kg/m s$
Radio del orificio de la boquilla 1 del extrusor	R	0.00293	m
Radio del orificio de la boquilla 2 del extrusor	R	0.006	m
Radio del orificio de la boquilla 3 del extrusor	R	0.009	m
Longitud del orificio de la boquilla 1 2 y 3 del extrusor	L_b	0.00923	m
Punto de operación	Q	0.0432	m^3/h

Fuente: Propia, octubre de 2016.

5.3.3 Operación de cortado de cordón de espumado biodegradable

Para comenzar, se aclara que el flujo de material que debe procesar la cortadora será de $16.84 kg/h$ que como se mencionó en la anterior operación, equivale a $0.0432 m^3/h$ de espumado extruido. Además, mediante mediciones directas al espumado extruido, se determinó que el diámetro promedio a lo largo del cordón es de $0.79 cm$. Por lo tanto, como producto de la operación de corte se desean obtener espumas de $3 cm$ de largo.

Para determinar la velocidad a la que debe girar la cortadora, se modela el proceso para un cabezal de dos cuchillas como el de la *Figura 17*; por consiguiente, la variable n_c del modelo (26) tendrá un valor de 2. Al resolver el modelo para las condiciones mencionadas, finalmente se obtiene que la velocidad de la cortadora en la operación deberá ser de $244.8 rpm$, ecuación (54).

$$N = \frac{4 Q}{\pi L_e D_e^2 n_c} \quad (54)$$

$$N = \frac{4 * 0.0432 \text{ m}^3/h}{\pi * 0.03 \text{ m} * (0.0079 \text{ m})^2 * 2} = 14688.871 \text{ rph} = 244.8 \text{ rpm}$$

Los requerimientos para la operación de cortado se listan en la *Tabla 29*.

Tabla 29. Requerimientos para la cortadora de PROESBIPAY planta piloto

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Velocidad de giro de la cortadora	N	244.8	<i>rpm</i>
Número de cuchillas en el cabezal (ver <i>Figura 17</i>)	n_c	2	

Fuente: Propia, octubre de 2016.

Anexo F

6 Proceso Industrial Seleccionado para Comparación

Comestibles “Juanshis” es una empresa colombiana, dedicada a la fabricación, distribución y comercialización de productos comestibles de gran calidad, preparados con altos estándares. Posee más de 15 años de experiencia en el mercado de los alimentos. La empresa está constituida por 15 empleados en planta, 7 empleados en el área de administración, 1 jefe por departamento y 5 vendedores [26,27]. Juanshis, no solo distribuye sus productos en la ciudad de Cali, sino a varias regiones del país como: El Cauca, Nariño, Montería, Cartagena y el Pacífico.

Gestión de residuos: La separación de los residuos le genera a la empresa ganancias, ya que el cartón, plástico y desechos orgánicos que se clasifican en la planta son de fácil venta. La población beneficiada con las donaciones de la empresa son los estudiantes de la fundación.

Gestión de la innovación y la tecnología: La mayoría de los recursos técnicos de la empresa son diseñados y se fabrican en la empresa, así como también se adquiere maquinaria nacional y otro porcentaje muy pequeño es importado.

Observaciones:

- Se aplican normas ISO en las máquinas de procesamiento y empaque.
- Ubicación: Calle 22 No. 11D-43 Barrio Obrero, Cali, Colombia

6.1 Descripción del Proceso

Con el desarrollo de la investigación acerca del proceso de producción en la empresa “Juanshis”, se pudo establecer que dicho proceso cuenta con las siguientes etapas: Acopio de materia prima, Mezclado, Extrusión, Horneado, Sazonado, Empaque y Almacenamiento en bodega.

6.1.1 Etapa de acopio de materia prima

El maíz desgerminado (harina de maíz) con un porcentaje de humedad no mayor a 13.5%, ingresa al “área de materia prima a procesar”, espacio físico donde se colocan los sacos de harina de maíz en estibas, uno sobre otro, con un total de sacos por columna (apilado vertical) de 9 aproximadamente. En esta área es almacenada la materia prima que se utiliza hasta terminar la producción del día, permitiendo que se procesen solo productos de maíz frescos y nutritivos (ver *Figura 24a*).

6.1.2 Etapa de mezclado

La harina de maíz, llamado también “cris de maíz”, que se dispuso estratégicamente en el “área de materia prima a procesar”, pasa al equipo **mezclador** el cual se encargara de adicionarle agua y mezclarlo durante 15 minutos (ver *Figura 24b* y *c*).

6.1.3 Etapa de extrusión

La mezcla (pasta de harina de maíz) obtenida en el área de mezclado, es ingresada por medio de una tolva a las máquinas **extrusoras** en las cuales, con medidas de velocidad, presión y temperatura (los datos cuantitativos o magnitud de estas variables son reservados) debidamente controladas, le dan al producto la forma de expandido de maíz (ver *Figura 24d*). A medida que la “tira extruida” sale por el extremo opuesto al área de ingreso de la extrusora, una cuchilla la corta en trozos de un tamaño determinado (el producto sale con 6% de humedad).

Figura 24. Etapas de acopio, mezclado y extrusión de JuanShis
a). Área de materia prima a procesar. b) Disposición de mando del mezclador.
c). Equipo mezclador. d) Extrusoras en disposición paralela.



a)



b)



c)



d)

Fuente: Tomada de [26], octubre de 2016

6.1.4 Etapa de horneado

El producto que se obtuvo en la etapa de extrusión y que cuenta con un porcentaje de humedad del 6%, ingresa al **horno** para disminuir el porcentaje de humedad al 1% y generar la crocancia que destaca esta clase de productos alimenticios (ver *Figura 25*).

Figura 25. Etapa de horneado de JuanShis
a). Ingreso al horno. b). Salida del horno.



a)



b)

Fuente: Tomada de [26], octubre de 2016

6.1.5 Etapa de sazonado

Una vez horneado el producto, ingresa al área de **sazonado**, específicamente al “bongor” (tambor giratorio), que contiene en su parte interior una “flauta” (cilindro tubular de aspersión) que rocía el aceite sobre los trozos ingresados. Este tambor giratorio posee además, unas “aletas” internas que permiten el movimiento del producto para, como ya se mencionó, la aplicación de aceite y colorantes/saborizantes naturales debidamente graduados en el tablero de control (ver Figura 26).

Figura 26. Etapa de sazonado de JuanShis

- a). Recepción desde horneado b). Traslado hacia sazonado
c). Aplicación de saborizantes d) Tambor giratorio y flauta de aspersión



a)



b)



c)



d)

Fuente: Tomada de [26], octubre de 2016

6.1.6 Etapa de empaqueo

El producto que ha cumplido con el proceso de sazonado, pasa al **área de empaque** en la cual, las máquinas lo ponen en una tira de aluminio y plástico que forma las bolsas de tamaño referenciado (previamente se separa y pesa cada porción a empacar). El personal de empaque agrupa las presentaciones individuales en bolsas más grandes (presentación de distribución) para ser almacenados en **bodega** (ver *Figura 27*).

Figura 27. Etapa de empaqueo de JuanShis
a). Recepción desde sazonado b). Separación para empaque
c). Equipo de empaqueo d). Disposición en bolsas grandes



Fuente: Tomada de [26], octubre de 2016

6.1.7 Etapa de almacenamiento en bodega

Las bolsas grandes (presentación de distribución que contiene una cantidad específica de paquetes individuales) son dispuestas sobre estibas para ser despachadas a los clientes o consumidores (ver *Figura 28*).

Figura 28. Etapa de almacenamiento en estibas de JuanShis



Fuente: Tomada de [26], octubre de 2016

Además, la empresa destina recursos y personal en procesos de verificación de la calidad e investigación.

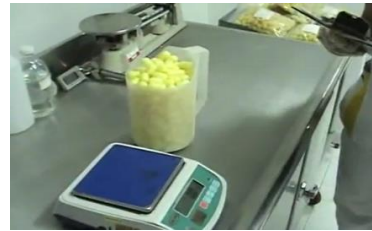
Pruebas de caracterización en laboratorio

Después del procedimiento de sazonado, el producto es revisado por personal de laboratorio como parte de procesos de calidad, investigación e innovación. Se llevan a cabo mediciones en cuanto a peso ideal, sabor y valores nutritivos (ver *Figura 29*).

Figura 29. Caracterización en laboratorio de JuanShis
a). Recolección de muestra. b). Caracterización.



a)



b)

Fuente: Tomada de [26], octubre de 2016

6.2 Modelos ISA-S88 del Proceso de Producción de JuanShis

Como lo plantea PEIPP, una vez se llevó a cabo la investigación del proceso, se encontró que la información referente a los valores específicos de las diferentes variables que intervienen en el proceso es clasificada, no fue posible obtener datos exactos en cada una de la etapas del proceso por precauciones que toman los dirigentes administrativos de la empresa de pasabocas “Juanshis”, por ello, con la información que se logró obtener se procede a levantar únicamente el modelo de proceso (MP) de esta actividad empresarial.

6.2.1 Modelo de proceso

Este modelo permite visualizar ordenadamente cualquier proceso productivo de tipo empresarial. La descripción que entrega el modelo está fundamentada en la aplicación de 4 niveles estructurales: proceso, etapas de proceso, operaciones de proceso y acciones de proceso (ver *Tabla 30*).

Tabla 30. Modelo de proceso del PPME

Proceso	Etapas	Operaciones	Acciones
Producción De Pasabocas De Maíz Expandido	Alistamiento de materia prima	Traslado de materia prima	Medir porcentaje de humedad utilizando balanza digital de humedad.
			Trasladar sacos en "carretas de carga" hacia estibas de acopio.
			Apilar sacos verticalmente sobre estibas.
	Acondicionamiento de la mezcla	Mezclado de harina de maíz con agua	Pesar harina de maíz en balanza de masa.
			Programar flujo de agua en tablero de control.
			Agregar harina de maíz al mezclador.
			Iniciar mezclado en el equipo.
	Obtención del expandido de maíz	Extruido de la mezcla	Precalear equipo de extrusión.
			Agregar mezcla a través de la tolva de alimentación.
		Cortado de expandido de maíz	Fundir mezcla en el módulo de extrusión.
			Cortar cordón extruido mediante cuchilla de corte.
	Acondicionamiento de humedad del expandido de maíz	Horneado del expandido de maíz	Trasladar en banda transportadora hacia el área de horneado.
			Ingresar expandido de maíz al horno mediante cangilones.
			Hornear expandido de maíz en equipo de horneado.
	Saborización del expandido de maíz	Sazonado del expandido de maíz	Trasladar expandido de maíz hacia el área de sazonado mediante banda transportadora.
			Ingresar expandido de maíz al tambor giratorio mediante cangilones.
			Agregar aceite, saborizantes y colorantes naturales mediante flauta de aspersion.
	Empaque	Empacado individual	Trasladar expandido de maíz hacia el área de empaque mediante banda transportadora.
			Separar cantidades de empaque mediante banda tipo cangilones.
			Colocar bolsa para empaque en la empacadora.
Empacado grupal		Ingresar cantidades al equipo de empackado.	
		Retirar paquetes individuales.	
		Agregar manualmente paquetes individuales en bolsa para distribución.	
		Sellar bolsa para distribución mediante equipo de sellado.	
Almacenamiento en bodega	Almacenamiento sobre estibas	Trasladar hacia el área de almacenaje mediante carretas de carga.	
		Ubicar bolsas para distribución sobre estibas.	
			Rotular producto mediante equipo rotulador.

Fuente: Propia, septiembre 2016

Anexo G

7 Escogencia de Equipos para Procesos Productivos

En el presente anexo se muestran los métodos usados para escogencia de equipos principales en el modelamiento o implementación de procesos productivos. Llevado a cabo el estudio de las particularidades de cada método, se escogerá uno de ellos para la selección de los equipos principales de PROESBIPAY planta piloto.

7.1 Metodologías para la Selección de Equipos

A continuación se realiza una breve descripción de dos métodos para la escogencia de equipos en un proceso productivo: Metodología basada en estudio de mercado y Metodología equipo-puntuación.

7.1.1 Metodología basada en estudio de mercado

Uno de los métodos más utilizados cuando se hace necesario llevar a cabo una “selección de equipos” para implementar procesos productivos es aquel en el que se desarrollan los siguientes pasos [28]:

- Realizar un estudio de mercado el cual permite determinar la cantidad de producto que se puede introducir a la venta, es decir, se establece la capacidad que deberían tener los equipos que se emplearán en la planta.

En este análisis de mercado se pueden ejecutar estudios como “comportamiento del mercado a nivel mundial” (referente al producto específico) en el que deberá presentarse algunos gráficos estadísticos, tipo barras o circulares y además, puede concluirse el estudio con la presentación de un cuadro que refleje la cotización internacional del producto de manera general (ver *Tabla 31*) [29].

Tabla 31. Ejemplo de la cotización internacional del producto

COTIZACION INTERNACIONAL DE SEMILLA DE ACHIOTE PRECIO FOB *(US dólares/kg)				
Año	Perú	Kenia	Costa de Marfil	Guatemala
1998	1.40	1.30	1.60	1.60
1999	1.50	1.40	1.30	1.30
2000	1.70	1.50	1.30	1.30
2001	1.90	1.75	1.30	1.40
2002	2.05	1.92	1.4	1.40

Fuente: Tomada de [29]

Como segunda medida, puede desarrollarse un estudio del mercado a nivel nacional que definirá aspectos como producción y ventas, importaciones, exportaciones, además, pueden realizarse encuestas personales y/o telefónicas a los posibles consumidores finales (empresas o particulares), estas encuestas deberán analizarse cuidadosamente mediante proyecciones estadísticas.

- Análisis del factor limitante y determinante en el momento de tomar decisiones; consideración y definición de los recursos económicos que se tienen para llevar a cabo el proyecto.
- Recaudar información mediante una investigación acerca de los equipos (según capacidad establecida previamente) y sus fabricantes.

Esta investigación deberá desarrollarse teniendo en cuenta que los equipos deben cumplir unas características deseables o ciertos criterios, algunos criterios de selección pueden ser los siguientes [30]:

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Proveedor• Precio• Dimensiones• Capacidad• Flexibilidad• Mano de obra necesaria• Costo de mantenimiento• Consumo de energía• Infraestructura necesaria | <ul style="list-style-type: none">• Equipos auxiliares• Costos de los fletes y seguros• Costo de instalaciones y puesta en marcha• Existencia de refacciones en el país• Optimizar el flujo de materiales• Características de seguridad apropiadas• Tiempos de carga y descarga• Vida útil |
|--|---|

- Programar entrevistas con diferentes fabricantes a fin de conocer las ventajas, el funcionamiento y las bondades de sus equipos.
- Posteriormente, contando ya con los datos necesarios, se debe realizar un análisis comparativo de los puntos que cada fabricante resaltaba como ventajas y cualidades de sus propios equipos.

Una herramienta muy útil para llevar a cabo las comparaciones del caso es la elaboración de una “hoja característica” para cada equipo.

- Socialización de la escogencia de equipos al personal administrativo involucrado en el proceso productivo.
- Una vez hecho el análisis de los diferentes equipos que se ofrecen en el mercado y teniendo en cuenta las observación del personal administrativo, se decide cuáles son los equipos más adecuados para los fines que se persiguen en particular.

7.1.2 Metodología equipo-puntuación

Esta metodología está basada en 3 criterios principales [2]:

1. **Costo:** Criterio que limita notablemente la selección de equipos. La prioridad que se le dé a este ítem depende de las particularidades del proceso (presupuesto disponible, disponibilidad de inversión). Generalmente, los costos que se presentan son valores sin IVA, no se incluye costos de transporte, instalación ni capacitación de personal.
2. **Flexibilidad:** Encierra posibilidades de adaptación a nuevas materias primas, cambios en la receta o utilización del equipo para crear nuevos productos.
3. **Fabricante:** Se debe tener en cuenta la trayectoria en el mercado del fabricante, aspectos de confiabilidad y, de ser posible, certificaciones legales obtenidas.

La capacidad del equipo se tiene en cuenta para hacer las respectivas cotizaciones pero, sabiendo que este criterio no limita (hay amplia oferta de los proveedores en cuanto a capacidades disponibles) la selección de un equipo, este criterio no se tiene en cuenta para elegir la mejor cotización.

Para la selección de los equipos se da un ponderado (puntaje de 0 a 100) a cada uno de los criterios (costo, fabricante y flexibilidad), según criticidad o particularidad del proyecto, de tal forma que el máximo valor de la suma de los ponderados para cada equipo sea 100 puntos. Los ponderados en el planteamiento de referencia fueron fijados así [2]: costos 40 puntos, fabricante 30 puntos, flexibilidad 30 puntos. La asignación del puntaje para el criterio de costos se hace de forma diferente al resto de criterios aprovechando que se maneja un precio específico. Se desarrolló una fórmula para la asignación del puntaje, ésta solo se aplica para el criterio de costos. Se tienen diferentes equipos para asignarles un puntaje, el máximo valor a dar es de 40 puntos, se escoge el equipo de menor costo como referencia, y se le asigna el puntaje máximo (PM) de 40 puntos. A partir de éste se asigna el puntaje a los dos equipos restantes, de tal forma que entre más se aleje del valor de referencia, menor será el puntaje asignado. La fórmula desarrollada en [2] se representa en la ecuación (55), de modo que si el equipo evaluado vale 2 veces el costo del equipo referente, el puntaje que se le asigna es cero, si el valor es mayor a 2 veces, el puntaje que se fija es negativo.

$$X_m = - \left(\left(\left(\frac{V_m * 100\%}{V_b} \right) * \left(\frac{PM}{100\%} \right) \right) - 80 \right) \quad (55)$$

Donde:

X_m	: Puntaje del equipo evaluado	V_b	: Valor del equipo menos costoso
V_m	: Valor del equipo evaluado	PM	: Puntaje máximo

De esta manera, al sumar los puntajes de costos, fabricante y flexibilidad, se tiene un puntaje total para cada equipo que permite comparar y seleccionar efectivamente el equipamiento necesario.

7.2 Selección de Equipos para PROESBIPAY Planta Piloto

Desarrollado el estudio de los métodos para escogencia de equipos, “Metodología Basada En Estudio De Mercado” y “Método Equipo-Puntuación”, se decide, para PROESBIPAY planta piloto, hacer uso del método Equipo-Puntuación para la escogencia de los equipos principales teniendo en cuenta que los fundamentos o consideraciones que presenta el método para desarrollar la propuesta final son adecuados; además, es intuitiva, sencilla y ofrece flexibilidad a la hora de ser aplicado, considerando que la asignación de puntajes a los diferentes ítems de selección (costo, fabricante, flexibilidad), parte del nivel crítico de los mismos, es decir, se ajusta a la particularidad del proceso.

Teniendo en cuenta que la metodología de selección de equipos escogida sugiere especificar nombre y función del equipo, número de la cotización, modelo del equipo, fabricante, valor sin IVA y especificaciones técnicas, a continuación se desarrolla la escogencia de equipos de PROESBIPAY planta piloto mediante tablas en las que se muestra la información sugerida. Las cotizaciones mostradas a continuación corresponden a los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2016.

7.2.1 Secador

Realizadas las cotizaciones, se identifica como valor de referencia USD 7412, perteneciente al equipo menos costoso. En la *Tabla 32* se muestran los puntajes asignados para cada cotización mediante el método equipo-puntuación.

Tabla 32. Puntaje de las cotizaciones del equipo secador

PRIMERA COTIZACION DE EQUIPO SECADOR				N° 29615
Nombre	Modelo	Fabricante	Distribuidor	Valor sin IVA [USD]
Horno universal	UF 750 PLUS	MEMMERT	ARTILAB (Cali)	7412
ESPECIFICACIONES TECNICAS				
Cámara en acero inoxidable ASTM 304, carga máxima 160 kg, volumen interior de 749 litros, rango de temperatura de 25-260°C, circulación de aire por ventilador con regulación de velocidad por pasos (0-10), alimentación 110-115 V 60 Hz, 14 estantes, consumo energético de 4.8 kW.				
Costo (1-40)	$X = - \left(\left(\frac{7412 * 100\%}{7412} \right) * \left(\frac{40}{100\%} \right) - 80 \right)$			40
Fabricante (1-30)	Trayectoria en el mercado	(1-10)	7	25
	Confiabilidad	(1-10)	9	
	Certificaciones	(1-10)	9	

Flexibilidad (1-30)	Equipo especializado para aplicaciones de calentamiento, ensayo, esterilización, envejecimiento, secado comprobación, endurecimiento, almacenamiento e investigación.			25
PUNTAJE TOTAL				90
SEGUNDA COTIZACION DE EQUIPO SECADOR				N° 216736 /32
Nombre	Modelo	Fabricante	Distribuidor	Valor sin IVA [USD]
Horno eléctrico	TR 1050	NABERTHERM	NABERTHERM (Alemania)	8511
ESPECIFICACIONES TECNICAS				
Cámara en acero inoxidable, aleación 304 (AISI)/(DIN No. de material 1.4301), resistente a la corrosión y fácil de limpiar, carga máxima 250 kg, volumen interior de 1050 litros, rango de temperatura de 25-300°C, circulación de aire por ventilación por regulación gradual de las revoluciones, alimentación 400 V trifásica, 14 estantes, consumo energético de 9.3 kW.				
Costo (1-40)	$X = - \left(\left(\frac{8511 * 100\%}{7412} \right) * \left(\frac{40}{100\%} \right) - 80 \right)$			34.1
Fabricante (1-30)	Trayectoria en el mercado (1-10)			8
	Confiabilidad (1-10)			9
	Certificaciones (1-10)			10
Flexibilidad (1-30)	El horno de secado es adecuado para el secado y el tratamiento térmico de materiales sólidos, polvos y materiales a granel			28
PUNTAJE TOTAL				89.1
TERCERA COTIZACION DE EQUIPO SECADOR				N° USB 1650
Nombre	Modelo	Fabricante	Distribuidor	Valor sin IVA [USD]
Horno de convección forzada	DNF 911	YAMATO	US BioSolutions (Bogotá)	18820
ESPECIFICACIONES TECNICAS				
Cámara en acero inoxidable, carga máxima 15 kg/estante, Volumen interior de 540 litros, rango de temperatura de 25-260°C, circulación de aire por ventilador con regulación de velocidad (10 pasos, 800-1500 rpm), alimentación 200 V 50/60 Hz, 29 estantes, consumo energético de 7.2 kW				
Costo (1-40)	$X = - \left(\left(\frac{18820 * 100\%}{7412} \right) * \left(\frac{40}{100\%} \right) - 80 \right)$			-21
Fabricante (1-30)	Trayectoria en el mercado (1-10)			10
	Confiabilidad (1-10)			7
	Certificaciones (1-10)			9
Flexibilidad (1-30)	Adecuado para curado proceso de oxidación y aislamiento térmico			23
PUNTAJE TOTAL				28

Fuente: Propia, octubre de 2016.

Comparadas las 3 cotizaciones para el secador, se decide seleccionar el horno universal MEMMERT modelo UF 750 PLUS correspondiente a la primera cotización.

7.2.2 Mezclador

Una vez realizadas las cotizaciones con los diferentes proveedores, se toma como valor de referencia UDS 1.000, que corresponde al equipo menos costoso. En la *Tabla 33* se muestran los puntajes asignados para cada cotización mediante el método equipo-puntuación.

Tabla 33. Puntajes de las cotizaciones del equipo mezclador

PRIMERA COTIZACIÓN DE EQUIPO MEZCLADOR				
Nombre	Modelo	Fabricante	Distribuidor	Valor sin IVA [USD]
Batidora industrial	B20G 20LTS	SINMAG	CI TALSA	1000
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS				
Componentes en acero inoxidable, velocidad variable (197-462 rpm), alimentación 110/220 V, capacidad 20L, potencia de 0.75 kW, seguro para que el tazón de mezclado no se salga durante la operación, desplazamiento vertical de la tolva, diferentes aspas de mezclado (gancho, pala, globo) [31].				
Costo (1-40)	$X = - \left(\left(\frac{1000 * 100\%}{1000} \right) * \left(\frac{40}{100\%} \right) - 80 \right)$			40
Fabricante (1-30)	Trayectoria en el mercado	(1-10)	10	28
	Confiabilidad	(1-10)	9	
	Certificaciones	(1-10)	9	
Flexibilidad (1-30)	El equipo maneja velocidad variable para distintos productos, la empresa tiene presencia en 7 ciudades principales de Colombia para ajustes y mantenimiento.			25
PUNTAJE TOTAL				93
SEGUNDA COTIZACION DE EQUIPO MEZCLADOR				
Nombre	Modelo	Fabricante	Distribuidor	Valor sin IVA [USD]
Batidora planetaria de piso	TS208 1F	JAVAR,	JAVAR (Bogotá)	1133.87
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS				
Olla en acero inoxidable, capacidad 20L, 3 velocidades, potencia 1HP, alimentación 110/220V, 3 accesorios (gancho, canasta, pala), peso 100kg [32].				
Costo (1-40)	$X = - \left(\left(\frac{1133.87 * 100\%}{1000} \right) * \left(\frac{40}{100\%} \right) - 80 \right)$			34.64
Fabricante (1-30)	Trayectoria en el mercado	(1-10)	9	25
	Confiabilidad	(1-10)	8	
	Certificaciones	(1-10)	8	
Flexibilidad (1-30)	Diferentes aspas para manejo de diferentes productos, respaldo de garantía, adaptaciones y mantenimiento.			25
PUNTAJE TOTAL				84.64
TERCERA COTIZACION DE EQUIPO MEZCLADOR				
Nombre	Modelo	Fabricante	Distribuidor	Valor sin IVA [USD]
Batidora industrial multipropósito	HL11020	DYNASTY	INDUSTRIAL TAYLOR (Bogotá)	1260.21
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS				
Estructura en fundición de aluminio incluidas patas de apoyo, tapa superior y posterior estampadas y troqueladas en lámina de acero, palanca manual para subir y bajar el brazo del tazón, pintura horneable de alta resistencia, potencia 1HP, tablero con selector de palanca para 3 velocidades y temporizador, capacidad 20L, peso 110kg, agitador de alambre de acero inoxidable, batidor plano, gancho espiral para amasar, los 3 últimos con sistema de acople rápido [33].				
Costo (1-40)	$X = - \left(\left(\frac{1260.21 * 100\%}{1000} \right) * \left(\frac{40}{100\%} \right) - 80 \right)$			29.59
Fabricante (1-30)	Trayectoria en el mercado	(1-10)	9	26
	Confiabilidad	(1-10)	9	
	Certificaciones	(1-10)	8	
Flexibilidad (1-30)	Equipo multipropósito con temporizador incluido para programar y controlar el tiempo de proceso.			25
PUNTAJE TOTAL				80.59

Fuente: Propia, octubre de 2016.

Comparadas las 3 cotizaciones para el mezclador, se decide seleccionar la Batidora Industrial SINMAG modelo B20G 20LTS correspondiente a la primera cotización.

7.2.3 Extrusor

Para este caso solo fue posible obtener dos cotizaciones de extrusores, cuyos precios se diferencian en gran medida. Para el ejercicio se toma como valor de referencia USD 6800 relativo al equipo extrusor menos costoso. En la *Tabla 34* se muestran los puntajes asignados para cada cotización mediante el método equipo-puntuación.

Tabla 34. Puntajes para las cotizaciones del equipo extrusor

PRIMERA COTIZACION DE EQUIPO EXTRUSOR				N° FLQ-W-CT-20161129/04
Nombre	Modelo	Fabricante	Distribuidor	Valor sin IVA [USD]
Extrusor de tornillo simple	SJ45x25R	FANGLI	FANGLI (China)	6800
ESPECIFICACIONES TECNICAS				
Diámetro de tornillo de 45 mm, relación L/D de 25.1, velocidad media de 80 rpm, potencia de la unidad principal de 7.5 kW, potencia ventilador de refrigeración del barril de 0.18 kWx3, potencia de calefacción del barril de 2.2 kWx3, altura de 1 metro, flujo máximo de salida de 30 kg/h				
Costo (1-40)	$X = - \left(\left(\frac{6800 * 100\%}{6800} \right) * \left(\frac{40}{100\%} \right) - 80 \right)$			40
Fabricante (1-30)	Trayectoria en el mercado (1-10)			6
	Confiabilidad (1-10)			6
	Certificaciones (1-10)			8
Flexibilidad (1-30)	Aplicado en la extrusión de material de poliolefina y PVC para peletización			25
PUNTAJE TOTAL				85
SEGUNDA COTIZACION DE EQUIPO EXTRUSOR				N° 2160745
Nombre	Modelo	Fabricante	Distribuidor	Valor sin IVA [USD]
Extrusor mono husillo	TM-45-25	BAUSANO	BAUSANO (Italia)	30487
ESPECIFICACIONES TECNICAS				
Diámetro de tornillo de 45 mm, relación L/D de 25:1, velocidad media de 85 rpm, potencia de calentamiento 9.6 kW, potencia de ventiladores 18 kW, potencia total instalada de 27.6 kW.				
Costo (1-40)	$X = - \left(\left(\frac{30487 * 100\%}{6800} \right) * \left(\frac{40}{100\%} \right) - 80 \right)$			-99
Fabricante (1-30)	Trayectoria en el mercado (1-10)			10
	Confiabilidad (1-10)			9
	Certificaciones (1-10)			10
Flexibilidad (1-30)	Las aplicaciones van desde la tubería (HDPE, LDPE, PP, etc.) hasta extrusión de perfil técnico y granulación.			28
PUNTAJE TOTAL				-49

Fuente: Propia, diciembre de 2016.

Siguiendo la metodología equipo-puntuación, se identifica que el equipo más conveniente es el extrusor FANGLI; sin embargo, el hecho de que solo fue posible obtener dos cotizaciones, no ofrece una visión panorámica de la variedad de

equipos existentes en el mercado; además, la diferencia en los precios de estas cotizaciones es muy grande y lleva a considerar factores como la calidad del equipo y su funcionalidad; por lo tanto, para esta propuesta de equipos se elige el extrusor BAUSANO modelo TM-45-25 con el fin de que el estudio económico este abierto a la posibilidad de escoger otros equipos extrusores disponibles en el mercado.

7.2.4 Empacadora

Luego de realizar las cotizaciones con los diferentes proveedores, se toma como valor de referencia UDS 7.913, correspondiente al equipo de menor costo. En la *Tabla 35* se muestran los puntajes asignados para cada cotización mediante el método equipo-puntuación.

Tabla 35. Puntajes de las cotizaciones del equipo empacador

PRIMERA COTIZACION DE EQUIPO PARA EMBALAJE				
Nombre	Modelo	Fabricante	Distribuidor	Valor sin IVA [USD]
Báscula ensacadora electrónica	LAE/N	PAGLIERANI	PAGLIERANI (Italia)	46353.13
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS				
Peso en el saco plástico 5kg min-20kg máx, tolva de carga en acero al carbono, sondas de nivel con paletas giratorias colocadas en la tolva de carga para controlar el nivel mínimo y máximo del producto y asegurar una alimentación constante, bascula ensacadora electrónica (alimentación con cinta transportadora, pesaje electrónico con células de carga, boca de ensacado con pinzas neumáticas), tablero de mando dotado de selector, pulsadores, pantalla y teclado para ajuste de peso, estructura metálica en acero al carbono [34].				
Costo (1-40)	$X = - \left(\left(\frac{46353.13 * 100\%}{7913} \right) * \left(\frac{40}{100\%} \right) - 80 \right)$			-154.3
Fabricante (1-30)	Trayectoria en el mercado	(1-10)	10	26
	Confiabilidad	(1-10)	10	
	Certificaciones	(1-10)	9	
Flexibilidad (1-30)	Capacidad de empaque variable (5 a 20 kg), control de nivel mínimo y máximo en la tolva de carga para asegurar alimentación constante de diferentes tipos de materiales, control de flujo de pesaje rápido y lento, pesaje de alta precisión y panel frontal para fácil configuración.			30
PUNTAJE TOTAL				-98.3
SEGUNDA COTIZACION DE EQUIPO PARA EMBALAJE				
Nombre	Modelo	Fabricante	Distribuidor	Valor sin IVA [USD]
Maquina ensacadora de pellets	DCZ	KMEC Engineering	KMEC Engineering (China)	7913
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS				
Entre sus componentes principales incluye bascula automática, tolva, máquina de sellado en caliente y columna de soporte, embalaje entre 5kg min y 25 kg máx-por saco plástico, envasado electrónico cuantitativo, tablero digital para ajuste y pre-programación de cantidades [35].				
Costo (1-40)	$X = - \left(\left(\frac{7913 * 100\%}{7913} \right) * \left(\frac{40}{100\%} \right) - 80 \right)$			40
Fabricante (1-30)	Trayectoria en el mercado	(1-10)	8	21
	Confiabilidad	(1-10)	7	

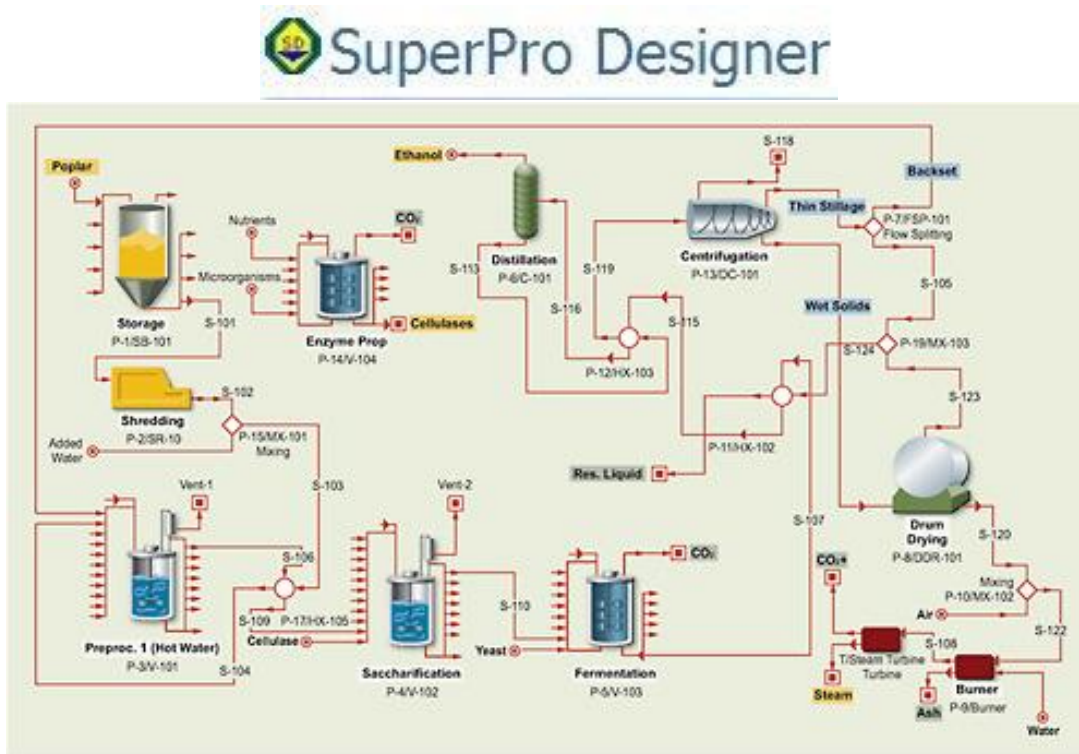
	Certificaciones (1-10)	6	
Flexibilidad (1-30)	Pesaje variable (5-20 kg), bascula automática para pesaje confiable y efectivo, posibilidad de incorporar banda transportadora para sacos pesados.		20
PUNTAJE TOTAL			81
TERCERA COTIZACION DE EQUIPO PARA EMBALAJE			
Nombre	Modelo	Fabricante	Distribuidor
Embolsadora de carga por gravedad	ECG 420	INGESIR	INGESIR (Argentina)
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
Para bolsas de boca abierta, carga por gravedad (5kg min-20kg máx), potencia de 2.2 kVA, sistema sujeta bolsas neumático de mandíbulas, conducto de despresurización, pesaje directo en la bolsa a través de celdas de carga, equipo electrónico de pesaje con panel frontal, sistema de válvula mariposa que permite doble velocidad de carga, pedal de carga para inicio de llenado y selladora [22].			
Costo (1-40)	$X = - \left(\left(\frac{9634 * 100\%}{7913} \right) * \left(\frac{40}{100\%} \right) - 80 \right)$		31.3
Fabricante (1-30)	Trayectoria en el mercado (1-10)	10	28
	Confiabilidad (1-10)	9	
	Certificaciones (1-10)	9	
Flexibilidad (1-30)	Manejo de diferentes materiales a granel o pellets, embolsado variable (5-20 kg), pesaje de alta precisión, panel frontal de fácil acceso, dos velocidades de carga.		30
PUNTAJE TOTAL			89.3

Fuente: Propia, octubre de 2016.

Comparadas las 3 cotizaciones para el equipo de embolsado, se decide seleccionar la embolsadora de carga por gravedad modelo ECG 420 de la empresa INGESIR (Argentina) que corresponde a la tercera cotización de este apartado (se tiene en cuenta el costo de envío desde Argentina hasta Colombia, que puede oscilar entre USD 700-USD 1000).

Anexo H

8 Manejo de la Herramienta SuperPro Designer



Los pasos que se presentan a continuación constituyen un manual general para el uso de la herramienta SUPER-PRO DESIGNER y están basados en la simulación de un Caso de Estudio (Reacción Química) que implica el uso de dos equipos, Reactor Químico y Filtro de Platos [36].

Información suministrada para el caso de estudio:

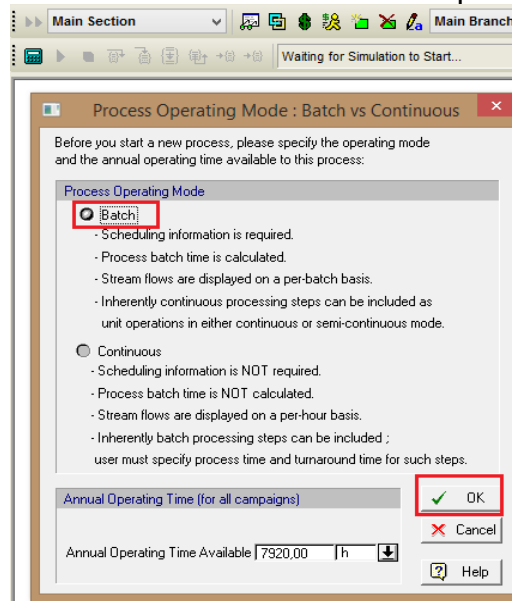
- Modo de operación (Set Mode of Operation): Batch.
- Reacción química: $A+B = C$.
- Componentes o materiales: Heptano (solvente); Reactante A (Peso Molecular (WM)=150, Precio de Compra (Purchase Price)=\$10/kg); Reactante B (WM=25, Purchase Price=\$15/kg).

Para llevar a cabo una adecuada simulación, se propone la ejecución de los siguientes pasos [36,37]:

8.1 Inicio de Programa

Cuando se inicia el programa, lo primero que se pide es elegir el tipo de archivo que se va a trabajar, nuevo o ya existente, generalmente clic en “NewFlowSheet”. Acto seguido, se debe elegir el “modo de operación” en el que se va a trabajar (batch, continuo), la elección depende del tipo de proceso que se desee simular o de las especificaciones dadas en un problema cualquiera (para el Caso de Estudio (CE), seleccionar “Batch” y OK, ver *Figura 30*).

Figura 30. Selección del modo de operación

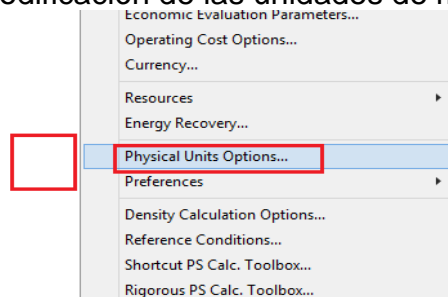


Fuente: Propia, octubre de 2016

8.2 Registro de Componentes

Estos pueden ser flujos o materias primas que se usarán en el proceso. En primera instancia, es posible modificar las “unidades de medición” con clic-derecho en el espacio de trabajo y seleccionando “Physical Units Options” (ver *Figura 31*).

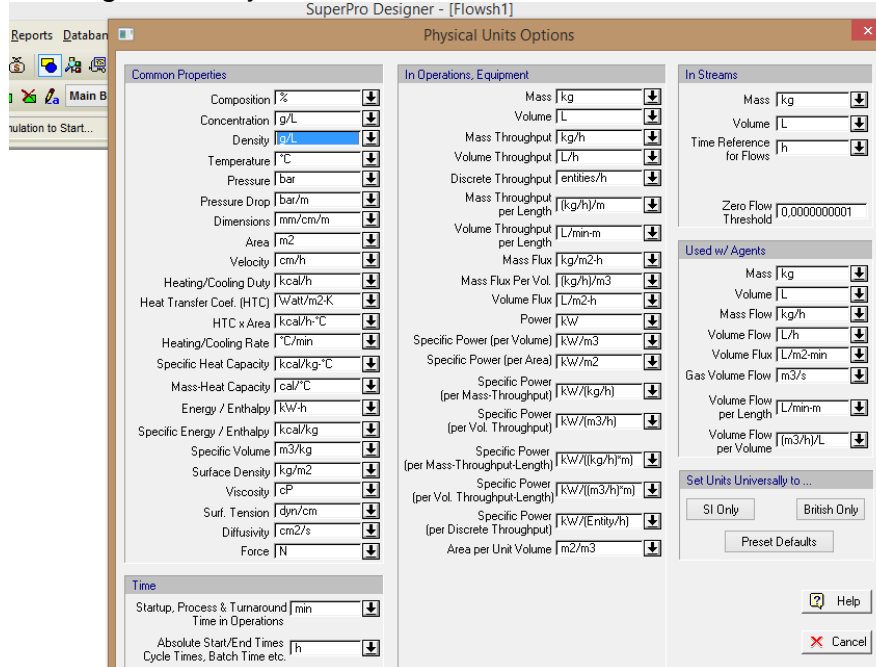
Figura 31. Modificación de las unidades de medición



Fuente: Propia, octubre de 2016

Inmediatamente se despliega el cuadro para hacer las respectivas modificaciones (ver *Figura 32*).

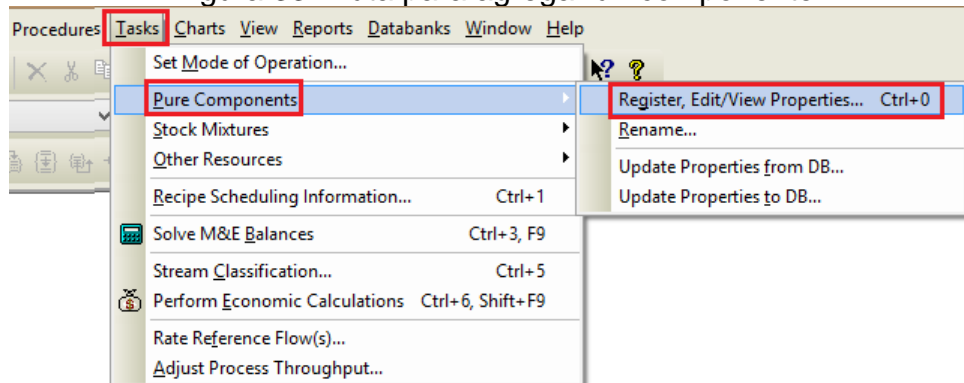
Figura 32. Ejecución de la modificación de unidad



Fuente: Propia, octubre de 2016

Seleccionado el modo de operación (Batch, continuo), se despliega el entorno de trabajo de SuperPro y se empieza a agregar los “componentes de la simulación” (elementos, materias primas o materiales que permiten desarrollar el proceso); en el CE, el primer componente es “heptano” (un solvente). Para agregar o editar un componente ir a la pestaña “Tasks” (Tareas), “Pure Components” (Componentes Puros), “Register, Edit/View” (Registrar o Editar) (ver *Figura 33*).

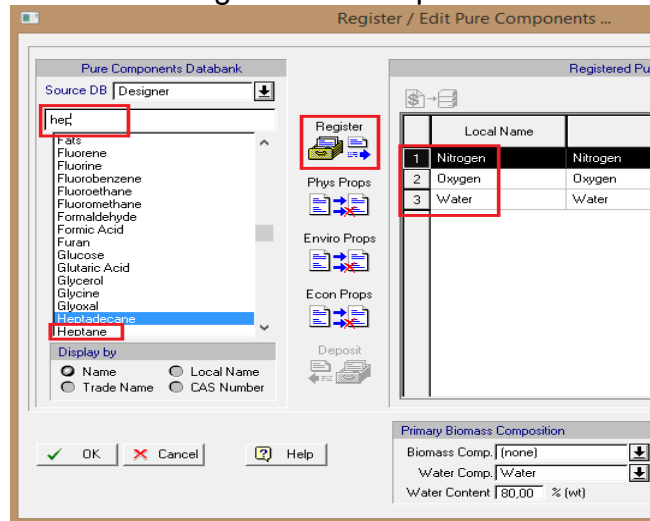
Figura 33. Ruta para agregar un componente



Fuente: Propia, octubre de 2016

En seguida, se despliega el cuadro para registrar o editar componentes, es posible digitar las iniciales en el espacio de búsqueda para ubicar el componente; una vez ubicado, clic en “Register” (Registrar); por defecto aparecen 3 componentes: nitrógeno, oxígeno y agua que no pueden ser borrados (ver *Figura 34*).

Figura 34. Cómo registrar un componente de simulación



Fuente: Propia, octubre de 2016


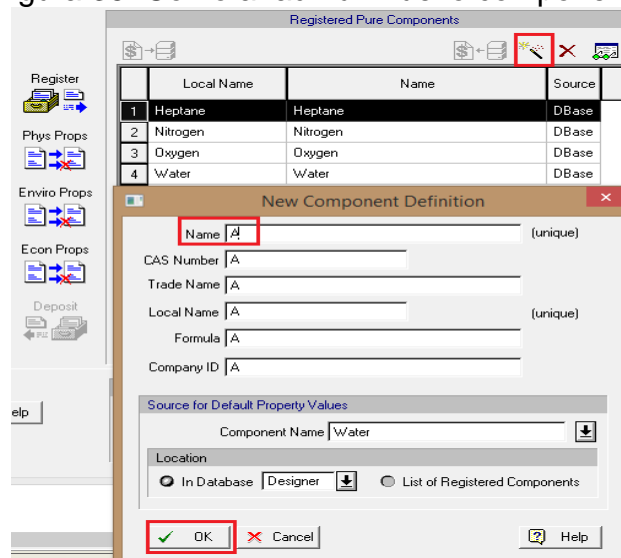
Ahora, para el CE, existen “componentes hipotéticos” (reactante A y reactante B) que no se encontrarán en la base de datos del software, en este caso hay que crearlos; clic en “Add a New Component” (Añadir nuevo componente, ) , en la opción “Name” (Nombre) ingresar el nombre deseado, clic OK (ver *Figura 35*).

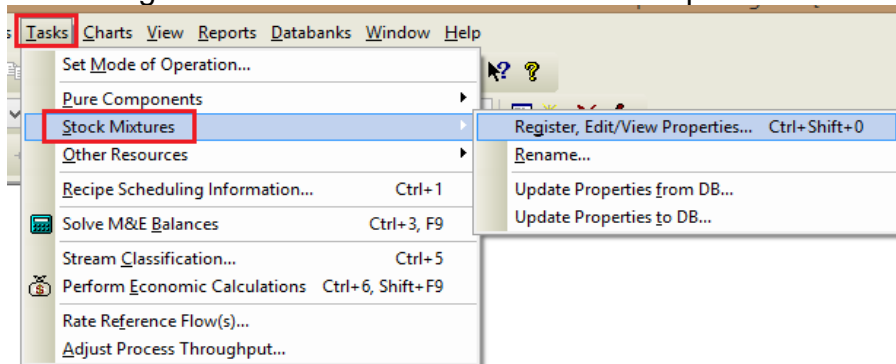
Figura 35. Como añadir un nuevo componente



Fuente: Propia, octubre de 2016

Además de los componentes puros, existen “mezclas” que se pueden agregar desde la opción “Stock Mixtures” (ver *Figura 36*).

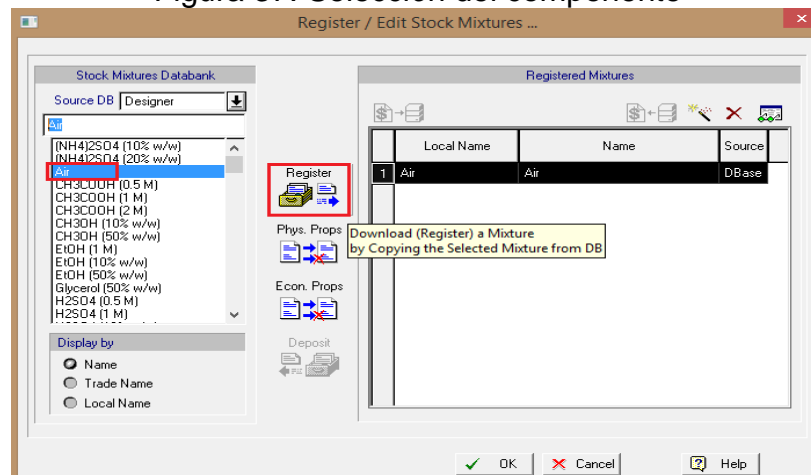
Figura 36. Añadir una mezcla como componente



Fuente: Propia, octubre de 2016

En el recuadro desplegado, seleccionar el componente deseado y clic en “Register” (ver *Figura 37*).

Figura 37. Selección del componente



Fuente: Propia, octubre de 2016


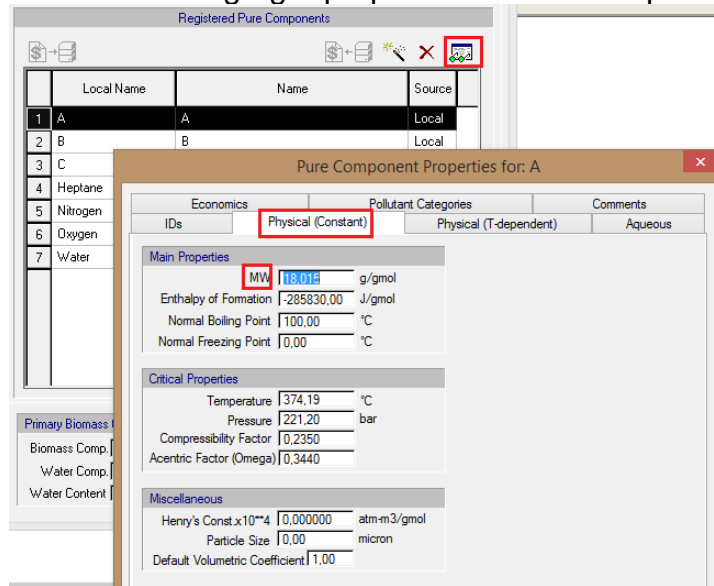
Estas mezclas son seleccionadas, registradas y modificadas en sus propiedades, de igual manera que los componentes puros (Pure Components). Si es necesario agregar algunas “propiedades” de los componentes nuevos o hipotéticos (para el CE se agrega el “peso molecular”, por la separación física que va a desarrollar); se debe seleccionar el componente (resaltado en color negro), clic en “View/edit... properties” (ver/editar, ) , ir a la opción “Physical” (Físicas) y agregar el valor que corresponda. Para el CE se agrega el Peso Molecular (MW-masses wait) y un precio por kilo (Purchase Price), que se encuentra en la pestaña “Economics” (Económicos), como se muestra en la *Figura 38*.

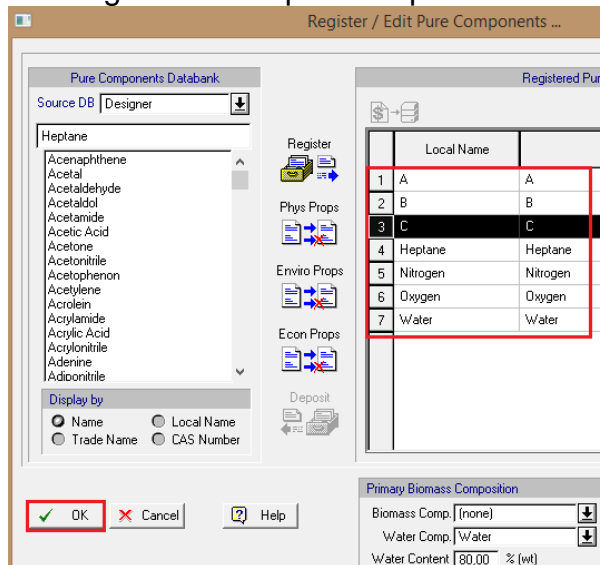
Figura 38. Cómo agregar propiedades a los componentes



Fuente: Propia, octubre de 20

Una vez agregados todos los componentes, clic OK (ver Figura 39).

Figura 39. Aceptar componentes



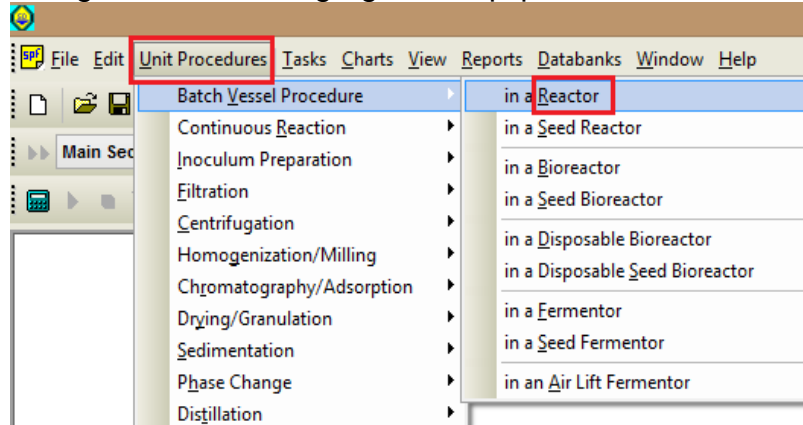
Fuente: Propia, octubre de 2016

8.3 Construir la Hoja de Flujo (Flow Sheet)

El paso siguiente es construir el "Flow Sheet" que está compuesto por una o varias "operaciones unitarias"; para el CE, se tienen 2 operaciones unitarias, un "reactor" y un "filtro de platos". Para agregar un equipo, clic en "Unit Procedures"

(Procedimientos de unidad), se despliegan todos los procedimientos disponible; para el CE, en primer lugar se debe agregar un “reactor” (para soltar el equipo en el espacio de trabajo dar un clic sencillo, ver *Figura 40*).

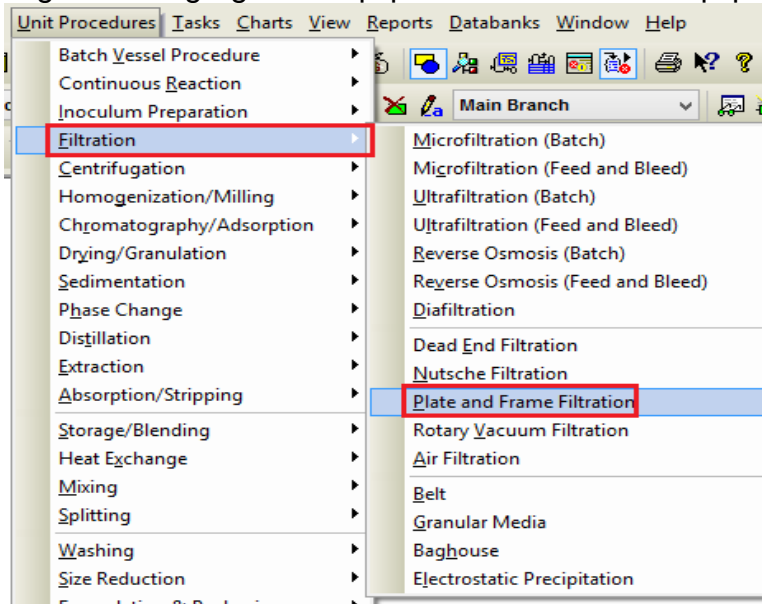
Figura 40. Cómo agregar un equipo a la simulación



Fuente: Propia, octubre de 2016

El segundo equipo que se debe agregar es un filtro (ver *Figura 41*).

Figura 41. Agregar un equipo de filtrado como equipo



Fuente: Propia, octubre de 2016


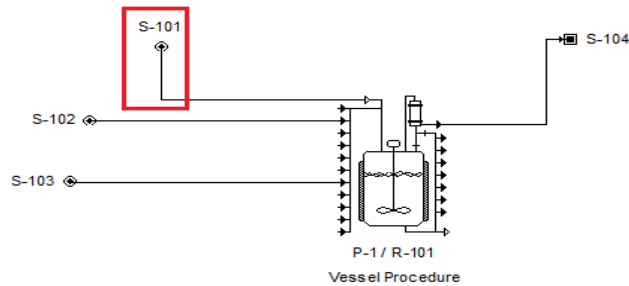
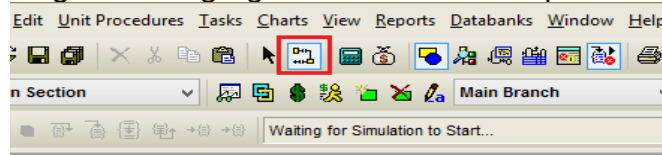
Para agregar los flujos (corrientes de proceso) se debe seleccionar la opción “Conect Mode” (Modo Conexión, ) y se empiezan a trazar las líneas de flujo dando un clic inicial en el espacio de trabajo (dibujar la línea con el mouse y finalizarla con clic sencillo, ver *Figura 42*).

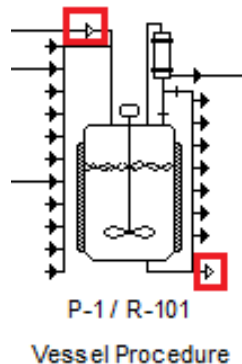
Figura 42. Agregar las corrientes de proceso



Fuente: Propia, octubre de 2016

Las flechas cuya “cabeza” no está completamente negra (flechas blancas) indican un “flujo principal” en el proceso (ver Figura 43).

Figura 43. Identificación de los flujos principales



Fuente: Propia, octubre de 2016


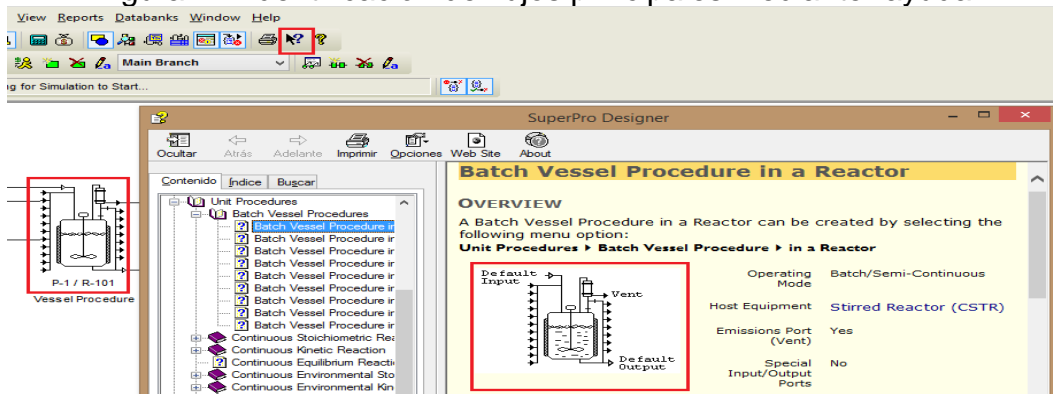
Para verificar cuales son los flujos principales, se puede usar “Flowsh Help” (Ayuda, ) que muestra una descripción completa de las características del equipo seleccionado; primero seleccionar la opción de ayuda y luego clic en un equipo (ver Figura 44).

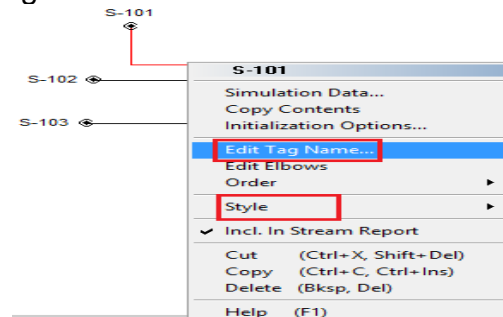
Figura 44. Identificación de flujos principales mediante "ayuda"



Fuente: Propia, octubre de 2016

Para cambiar el nombre de la corriente de flujo: clic-derecho sobre la línea, seleccionar "Edit Tag Name" (ver Figura 45). De la misma manera se pueden modificar otros parámetros como "grosor y color de la línea".

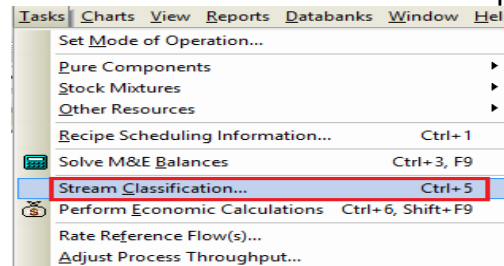
Figura 45. Editar una corriente de flujo



Fuente: Propia, octubre de 2016

Se puede clasificar las corrientes del proceso en categorías como Mercancía, Contribución, Residuo, etc (ver Figura 46).

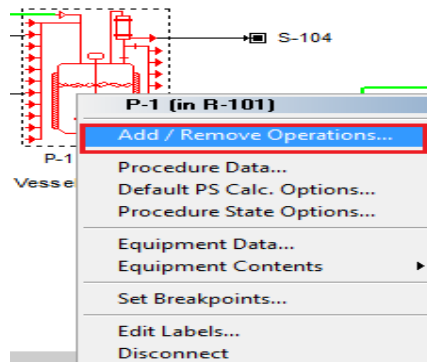
Figura 46. Clasificación de una corriente de proceso



Fuente: Propia, octubre de 2016

El paso a seguir es "adicionar los métodos de operación de los equipos" (operación de equipo: modelos matemáticos a implementar en un equipo determinado), clic-derecho en el equipo, "add/remove operations" (ver Figura 47).

Figura 47. Agregar una operación



Fuente: Propia, octubre de 2016


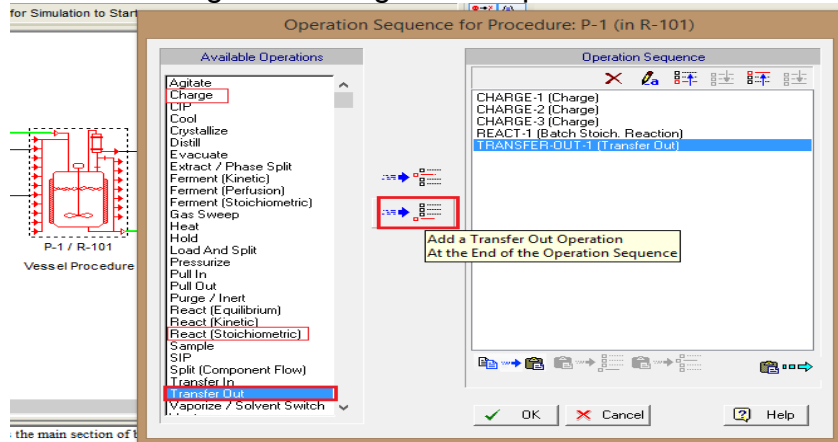
Para el CE, seleccionar las operaciones “charge”, “reaction...” y “transfer out” (carga, reacción y transferencia de salida) con las opciones de “Available Operations” y registrarlas con un clic en “Add a transfer,”  (ver Figura 48).

Figura 48. Registro de operaciones



Fuente: Propia, octubre de 2016


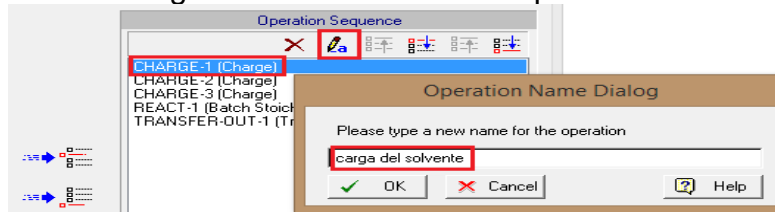
Se puede seleccionar una operación y editar su nombre mediante la opción “rename”  (ver Figura 49).

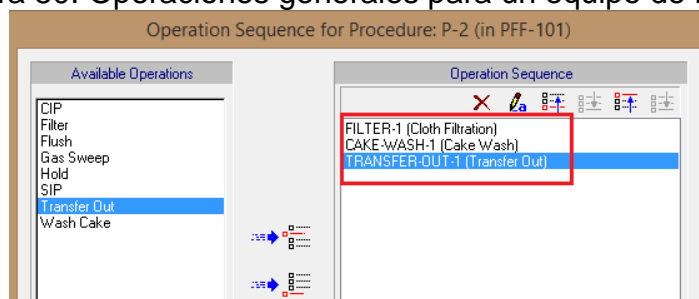
Figura 49. Edición de una operación



Fuente: Propia, octubre de 2016

Una vez se han adicionado y renombrado las operaciones deseadas, clic en OK (observación: todos los equipos van a tener una transferencia de salida “transfer out”). Aplicando el método inmediatamente anterior se agregan las operaciones correspondientes a cada uno de los equipos. Para el CE se agregan las operaciones “cake wash”, “transfer out” y “filter 1” que se agrega por defecto, correspondientes al filtro de platos (ver *Figura 50*).

Figura 50. Operaciones generales para un equipo de filtrado

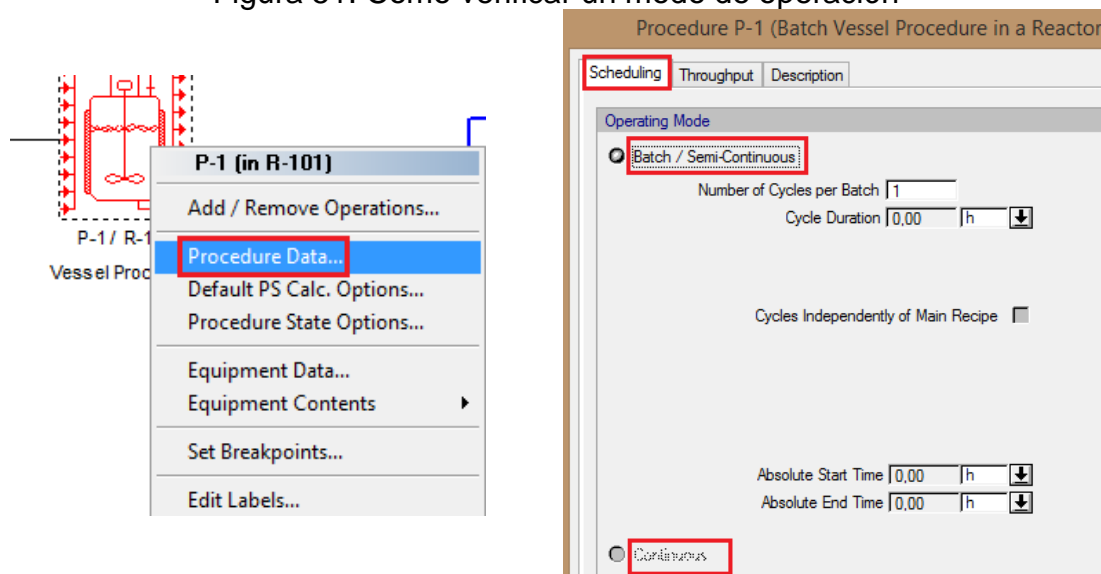


Fuente: Propia, octubre de 2016

8.4 Inicializar Operaciones

En primer lugar, puede constatarse el “modo de operación” del equipo (Batch, Continuo), dar clic sobre el equipo > “Procedure Data”, en la opción “Scheduling” (Programación) seleccionar “Batch” o “Continuous” (ver *Figura 51*).

Figura 51. Como verificar un modo de operación



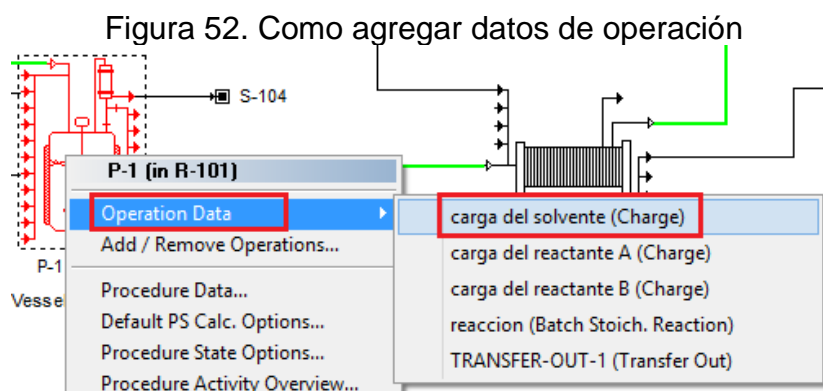
Fuente: Propia, octubre de 2016

8.4.1 Datos de operación (Operation Data)

El paso siguiente es “agregar la información de cada corriente” (inicializar unidades de procedimiento); para realizar este paso se debe contar con los datos necesarios (generalmente serán datos entregados en el problema que se está desarrollando). Para el CE, los datos proporcionados son:

- Corriente: S-101, alimentación de 800 kg de Heptano como solvente.
- Tiempo de instalación de carga: 5 minutos.
- Flujo Volumétrico (Volumetric Flowrate)=100L/min.
- Porcentaje de emisión (Emission)=0,028.

Para agregar la información de las corrientes se debe dar clic-derecho sobre el equipo > “Operation Data”, seleccionar la corriente deseada (ver *Figura 52*).

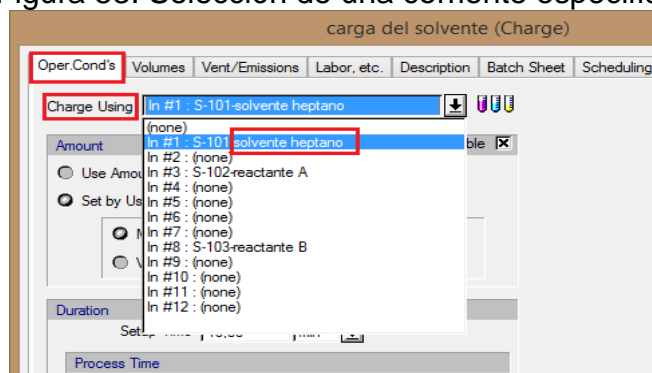


Fuente: Propia, octubre de 2016

Condiciones de operación (Oper Conds)

En el recuadro emergente, el primer paso es seleccionar la corriente deseada (para el CE seleccionar “solvente heptano”, ver *Figura 53*).

Figura 53. Selección de una corriente específica



Fuente: Propia, octubre de 2016


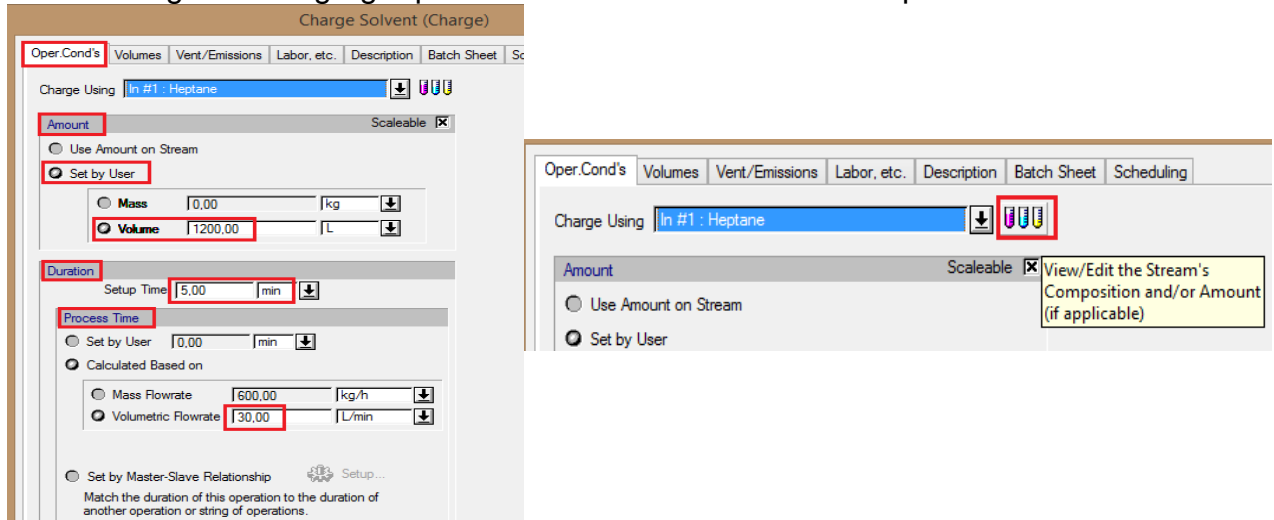
Seleccionada la corriente, se debe especificar las respectivas condiciones de operación (ver *Figura 54*): “Amount” (Cantidad), en la cual se puede marcar “Set by User” (configurado por usuario) e ingresar una masa o un volumen; “Duration” (Duración), en la que se especifica el “Setup Time” (tiempo de configuración) y el “Process Time” (tiempo de proceso). Una vez ingresados estos parámetros, se puede ver o editar la composición y/o cantidad de la respectiva corriente de flujo (View/Edit Stream’s composition ).

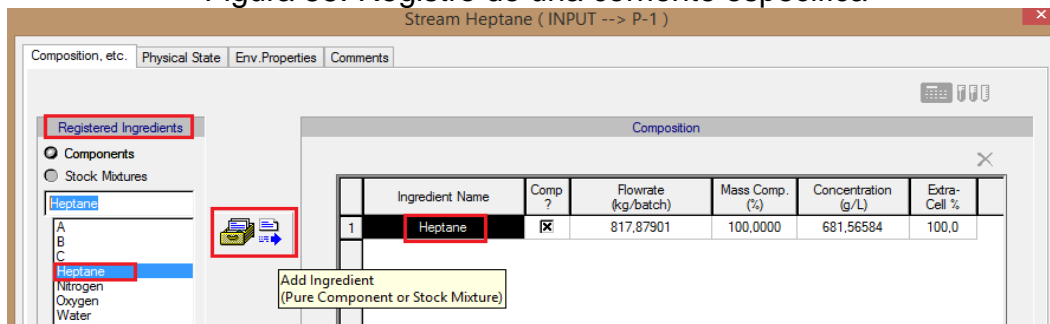
Figura 54. Agregar parámetros a las condiciones de operación



Fuente: Propia, octubre de 2016

Se despliega el recuadro para registrar la corriente que corresponda; ubicar la corriente en la opción de Ingredientes Registrados (Registered Ingredients, components/stock mixtures), dar clic sobre añadir ingrediente (Add Ingredient) y clic en ok (ver *Figura 55*).

Figura 55. Registro de una corriente específica



Fuente: Propia, octubre de 2016

Si se tienen parámetros de Volúmenes manejados, ir a la pestaña “Volumes” e ingresar los volúmenes máximos y mínimos permitidos.

Configuración de emisiones (Vent/Emissions)

En la opción Vent/Emissions, el usuario puede especificar que componentes orgánicos volátiles (VOC) serán emitidos, entre otros parámetros. Para el CE, se ingresa un “porcentaje de emisión”; ir a la pestaña “Vent/Emissions”, marcar la opción “Venting”, marcar las casillas “Emitted” y “Set By User” correspondientes al heptano e ingresar el porcentaje de emisión 0.028 (ver *Figura 56*).

Figura 56. Configurar emisiones

Component	Emitted ?	Set By User	Vent/Emission %
1 A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.000
2 B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.000
3 C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.000
4 Heptane	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.028
5 Nitrogen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.000
6 Oxygen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.000
7 Water	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.000

Fuente: Propia, octubre de 2016

Una vez se oprime la opción “continuar”, inmediatamente se despliega el mismo recuadro anterior pero, en este caso, se selecciona la opción “charge using” y se elige la corriente que sigue en la secuencia (reactante A, para el CE, en el que se agrega un nuevo parámetro “Velocidad de carga” (Mass Flowrate) de 20kg/min) para la configuración de parámetros; se procede sucesivamente de la misma manera para todas las corrientes del proceso (ver *Figura 57*).

Figura 57. Configuración de una corriente subsiguiente

Amount	Value	Unit
Mass	50.00	kg
Volume	50.27	L

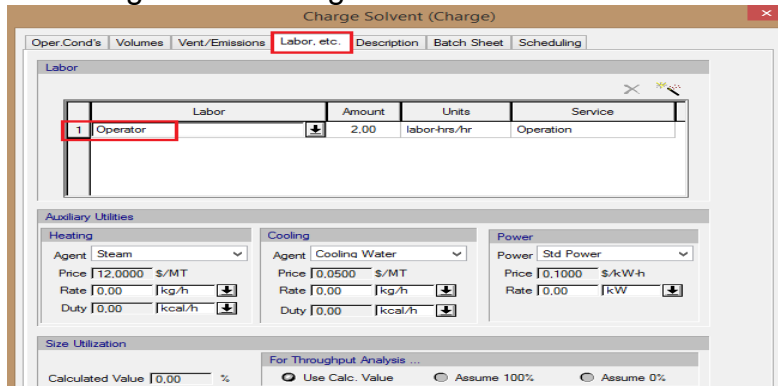
Process Time	Value	Unit
Mass Flowrate	20.00	kg/min
Volumetric Flowrate	600.00	L/h

Fuente: Propia, octubre de 2016

8.4.2 Configuración acerca de requerimientos de mano de obra (Labor etc)

Se puede especificar los requerimientos de mano de obra y utilidades auxiliares como se muestra en la *Figura 58* (esta configuración se ampliará más adelante).

Figura 58. Configuración de mano de obra

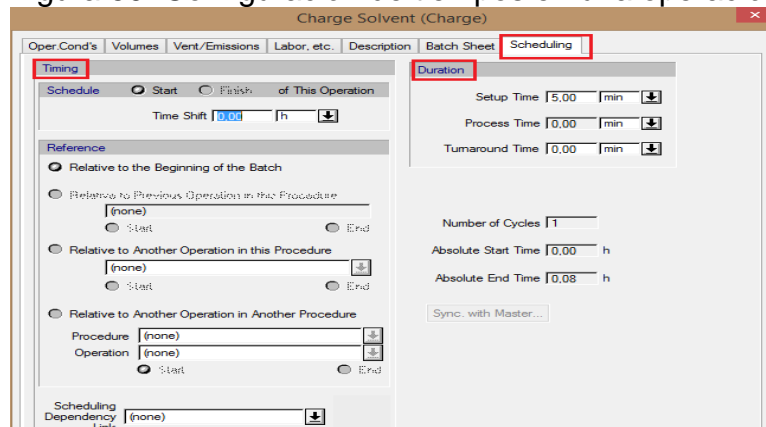


Fuente: Propia, octubre de 2016

8.4.3 Programación de la operación (Sheduling)

Se puede especificar tiempos de inicio y duración de una operación (ver *Figura 59*, equipos que operan en modo continuo no necesitan estas especificaciones).

Figura 59. Configuración de tiempos en una operación

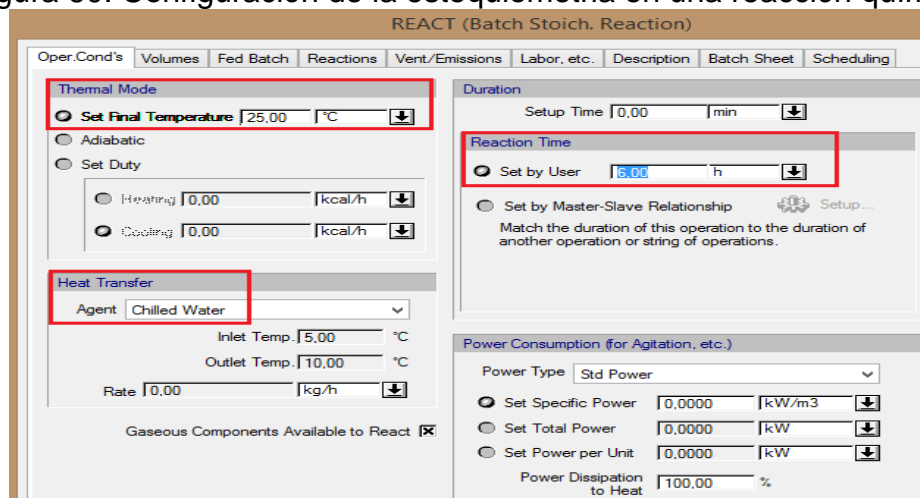


Fuente: Propia, octubre de 2016

Nota: En el CE que se está desarrollando, para la operación Charge Solvent se ingresan valores en las pestañas Oper Conds y Vent/emissions; en las otras pestañas (volumes, sheduling, labor...) se dejan los valores que aparecen por defecto. De la misma manera, para las operaciones Charge reactant A y Charge reactant B, únicamente se ingresan parámetros en la pestaña "Oper Conds", en las demás se dejan los valores por defecto.

Configurados los parámetros en cada una de las operaciones que posee el equipo, se genera el recuadro para configurar la “estequiometría de la reacción” que equivale a los “valores de la reacción”; el recuadro de configuración cambia, aparecen nuevos parámetros que deberán tenerse como datos entregados en el planteamiento del problema. Para el CE: temperatura final (25°C), tiempo de proceso (6h), extensión de la reacción (95%), volumen máximo (90%), Heat Transfer (Chilled Water)) como se muestra en la *Figura 60*.

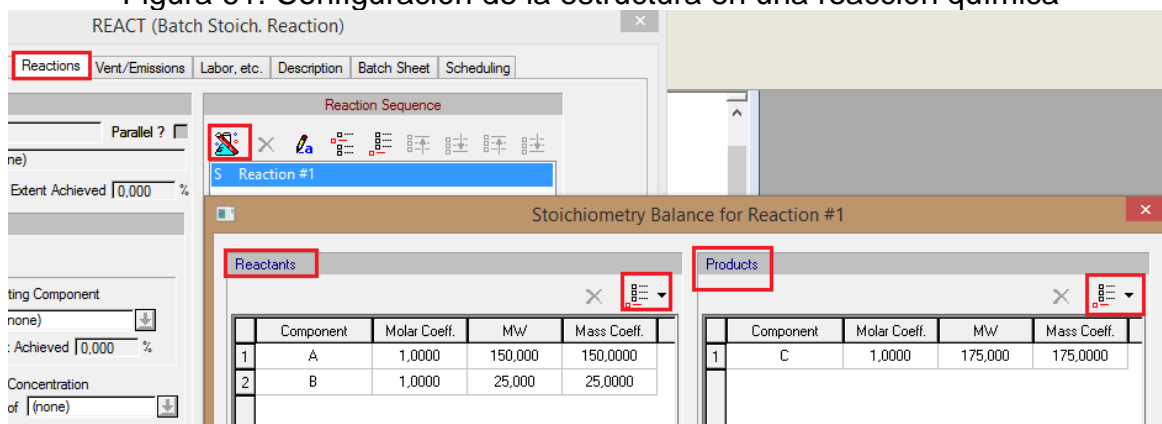
Figura 60. Configuración de la estequiometría en una reacción química



Fuente: Propia, octubre de 2016

En la pestaña “Reactions” se debe especificar la estructura de la reacción (A+B→C...el reactante A sumado al reactante B genera el producto C), para esto se debe dar clic en “Edit Stoichiometric”, en la sección de “Reactants” añadir los reactante A y B, en la sección de “Products” añadir el producto C, seleccionar “Molar” y clic ok (ver *Figura 61*).

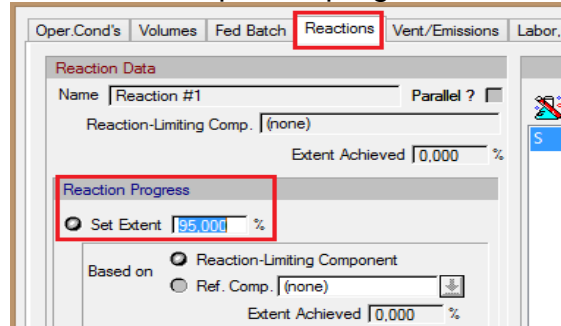
Figura 61. Configuración de la estructura en una reacción química



Fuente: Propia, octubre de 2016

En la pestaña “Reactions” ingresar el progreso de la reacción, Set Extent=95%. En las pestañas restantes (Vent/emission, labor...) se pueden dejar consignados los valores que aparecen por defecto (ver *Figura 62*).

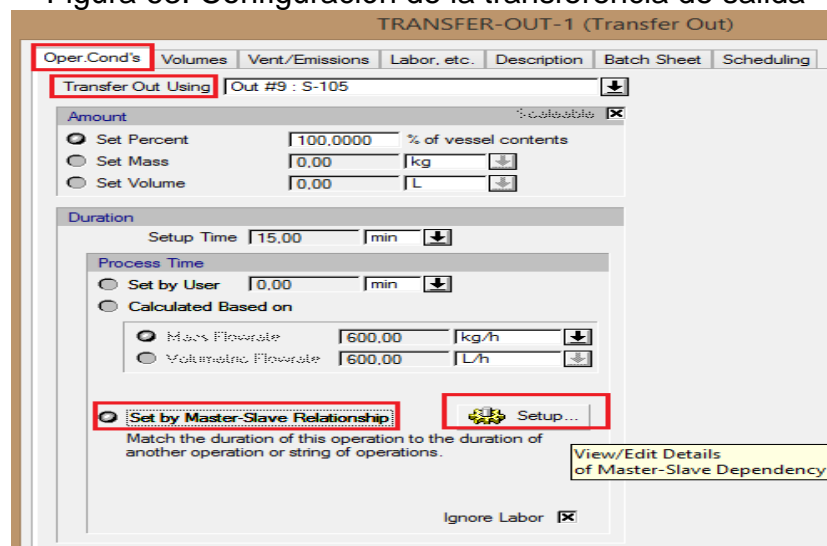
Figura 62. Parámetros para el progreso de una reacción



Fuente: Propia, octubre de 2016

Configurados los parámetros de la estequiometría con los valores entregados en el planteamiento del problema, clic en “continuar” (✓ >>) y se despliega el recuadro correspondiente a la “Transferencia de Salida” (Transfer Out), en este recuadro se ingresa la “corriente o flujo” en la que se implementa la “transfer out” (ir a la pestaña “Transfer Out Using” e ingresar “Out #9 S-105” correspondiente a la “salida del reactor” que se dirige al filtro), seleccionar la opción ignorar mano de obra (Ignore Labor) para garantizar que los requerimientos de mano de obra (Labor) para transferir los materiales entre un primer equipo (reactor en el ejemplo) y un segundo equipo (filtro en el ejemplo) no sean contados doblemente. Además, para calcular el tiempo exacto requerido en esta operación se debe establecer una relación Maestro-Eslavo, clic en “Set by Master-Slave Relationship”, “setup” (ver *Figura 63*).

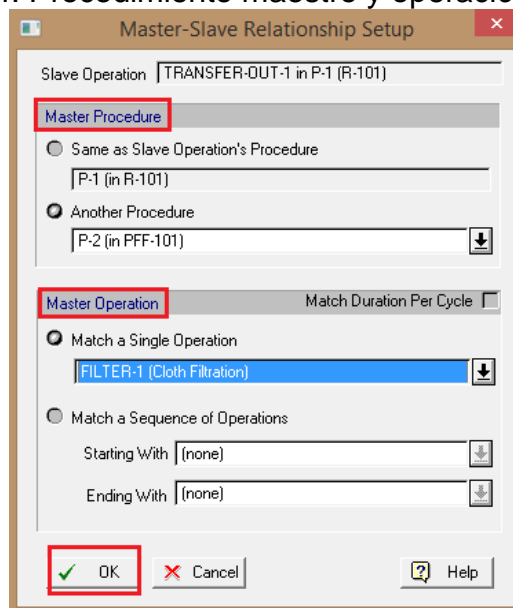
Figura 63. Configuración de la transferencia de salida



Fuente: Propia, octubre de 2016

Se despliega el recuadro mostrado en la *Figura 64*, ingresar el procedimiento maestro (Master Procedure, Another Procedure y seleccionarlo), ingresar también la operación maestro (Master Operation, Match a Single Operación y seleccionar) y finalmente dar clic en Ok (ver *Figura 64*).

Figura 64. Procedimiento maestro y operación maestro



Fuente: Propia, octubre de 2016

Verificar que se haya marcado “Ignore Labor”, dejar las demás pestañas en sus valores por defecto y clic en “Aceptar” para volver a la hoja de flujo (Flow sheet). Implementado éste paso, se han configurado todos los parámetros del reactor. El paso siguiente es configurar los parámetros del siguiente equipo (para el CE, un filtro teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Porcentaje removido (% Removed)=95%
- Cake Dryness, LOD=35%

En la pestaña “Oper Conds” se puede especificar, en el caso de un filtro, la cantidad de material (producto C para el ejemplo) que será removida o filtrada (95%), es decir, la cantidad que será removida de la corriente de alimentación que ingresa al filtro; además, se puede especificar el método de lavado (para el CE, “LOD” va a implicar un 35% para la filtración, ver *Figura 65*) y la corriente que será filtrada (Filtrate Stream: out #: S-107).

Figura 65. Configuración del filtro


Component	% Removed
A	0,0000
B	0,0000
C	95,0000
Heptane	0,0000
Nitrogen	0,0000
Oxygen	0,0000
Water	0,0000

Fuente: Propia, octubre de 2016

En la pestaña “Scheduling”, se debe configurar el tiempo de inicio de la operación; por defecto, la ejecución de la operación arrancarí con el inicio del Batch pero, para mayor exactitud, el arranque de la operación debe estar ligado a la transferencia de salida del equipo anterior, para hacer este cambio se da clic en “Relative to Another Operación in Another Procedure”, buscar la transferencia de salida del equipo anterior (P-1 (in R-101)) y en “operation” insertar transfer out (ver *Figura 66*).

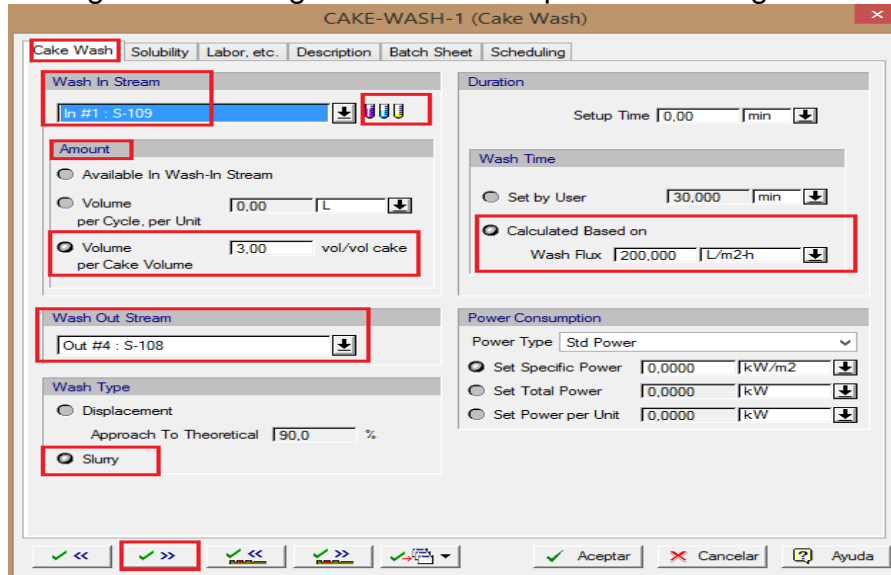
Figura 66. Configuración del tiempo de inicio de una operación

Fuente: Propia, octubre de 2016

Clic Ok  para continuar con la siguiente operación (“cake wash” para el ejemplo). En primer lugar, configurar la corriente o flujo de entrada que entrega el componente (“solvent” para el ejemplo) para hacer el lavado, clic en la pestaña “Cake Wash”, en “Wash in Stream” seleccionar la corriente de entrada (In #1: S-109 para el ejemplo), en “Wash out Stream” seleccionar el flujo de salida (out #4: S-108 para el ejemplo), en la opción “Amount” seleccionar “Volume per Cake Volume” (cantidad volumétrica

para lavar), en “Wash Type” seleccionar “Slurry” (lechada) y en la opción “Wash Time” seleccionar “Calculated based on Wash Flux”; además, especificar qué clase de componente será usado para lavar (“Heptane” para el ejemplo), clic en “View/Edit the Streams” (ver Figura 67).

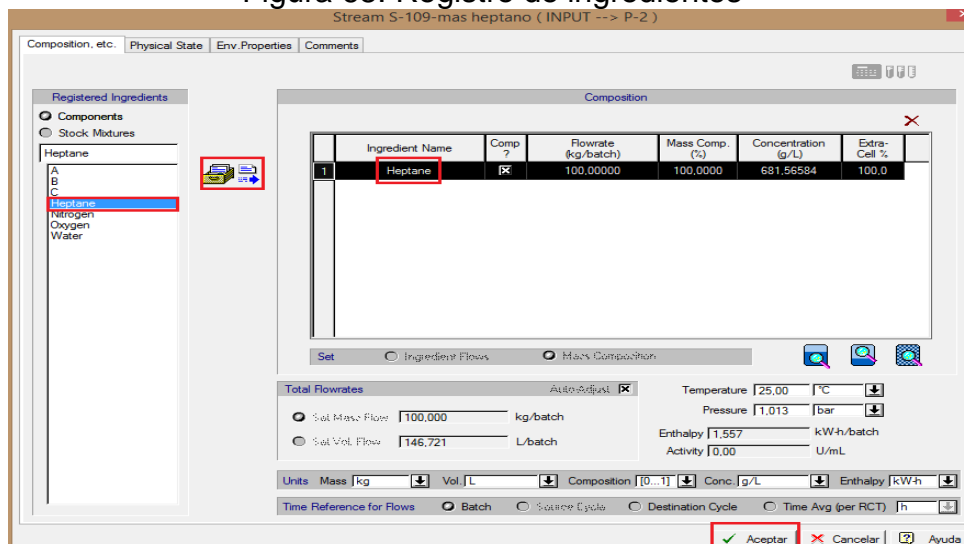
Figura 67. Configuración de una operación subsiguiente



Fuente: Propia, octubre de 2016

En el recuadro desplegado, desde la opción “Registered Ingredients” seleccionar el componente que corresponda (“Heptane” para el ejemplo), clic en “Add Ingredient”, clic en Aceptar y clic en OK (ver Figura 68).

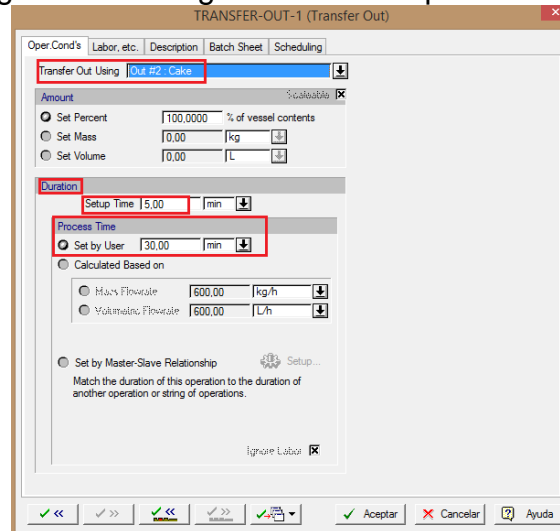
Figura 68. Registro de ingredientes



Fuente: Propia, octubre de 2016

La última operación a configurar (en el CE) es la transferencia de salida “Transfer Out” del filtro, en la opción “Transfer Out Using” seleccionar “Out #2: Cake” (para el CE) que es la salida principal. Además, en la opción “Duration” configurar “Setup Time” (5 min para el ejemplo) y en “Process Time” marcar “Set by User” (30 min para el CE), clic en “Aceptar” para retornar al “Flow Sheet” (ver *Figura 69*).

Figura 69. Configuración de la operación final



Fuente: Propia, octubre de 2016

En este punto, se ha finalizado la inicialización de las operaciones y corrientes de flujo.

8.5 Simular el Proceso y ver los Resultados


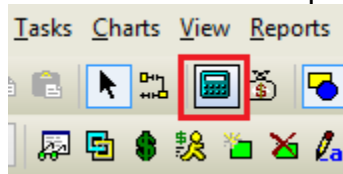
Para simular, se puede ingresar desde el teclado “F9” o “Ctrl+3” o desde la pestaña “Task” seleccionar “Solve E&E Balances” o clic sobre la opción “calcular balances de masa y energía”  (ver *Figura 70*).

Figura 70. Simulación del proceso

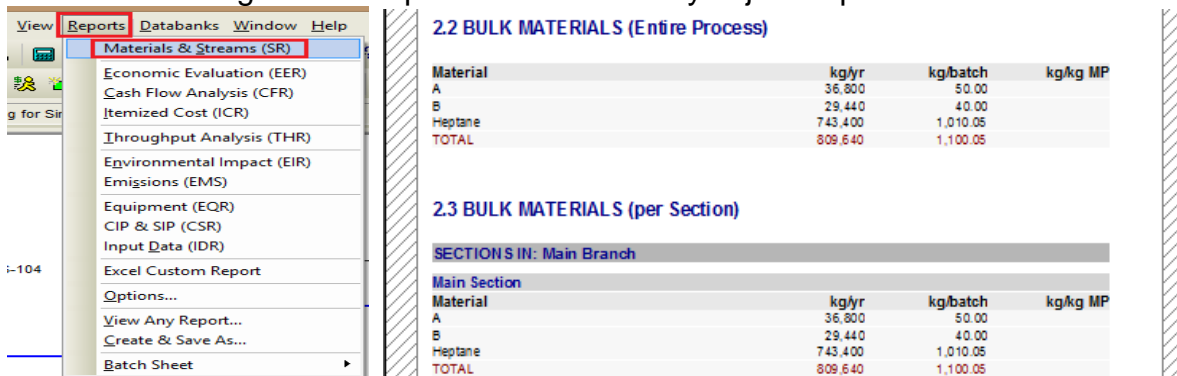


Fuente: Propia, octubre de 2016

Algunos resultados que se pueden visualizar en la simulación son: Stream Data, para ver propiedades o composición de un flujo o corriente (dar clic en la línea de flujo deseada y seleccionar “stream data”); Procedure Data, para ver tiempos de

inicio, finalización, duración, relacionados con los procedimientos de unidad o equipos (dar clic en el equipo deseado y seleccionar “procedure data”); Operation Data, presenta diferentes datos respecto a cada una de las operaciones definidas (dar clic sobre el equipo deseado y seleccionar la respectiva operación desde “operation data”); Equipment Contents (dar clic sobre un equipo y seleccionar “equipment contents” o “procedure activity overview”); Streams & Material Balance Report-SR, para ver requerimientos de material inicial, composición de flujos o caudales de flujo (dar clic en la pestaña “Reports” y seleccionar “Streams & Mat. Balance Report-SR”); Equipment Data, para ver el número y tamaño de los equipos necesarios (dar clic sobre un equipo y “Equipment data”) (ver *Figura 71*).

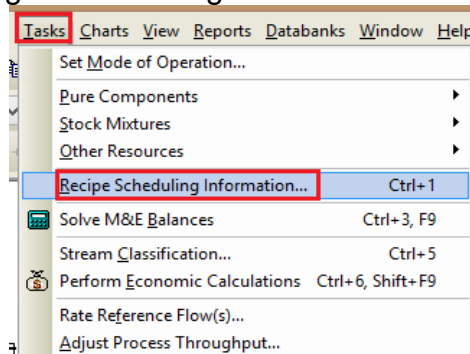
Figura 71. Reporte de materiales y flujos de proceso



Fuente: Propia, octubre de 2016

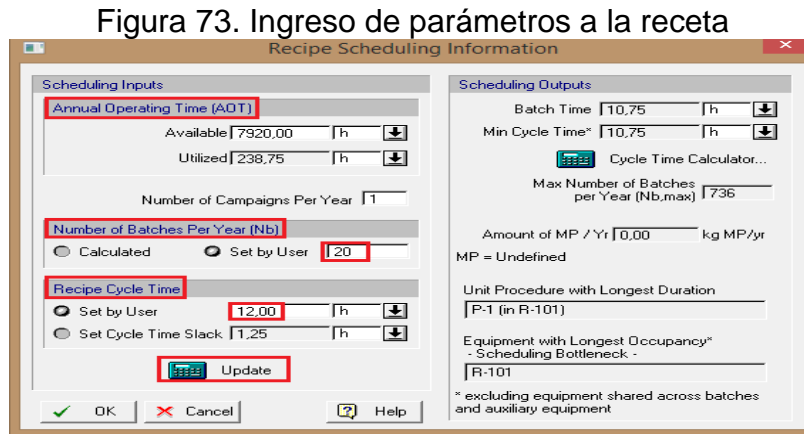
En este punto, se procede a configurar la programación del proceso (Process Scheduling Information). Algunos de los parámetros que se pueden configurar son: Annual Operating Time –AOT (número de horas por año que la planta dedica a la elaboración de un producto), Batch Time (tiempo desde que inicia hasta que termina un Batch simple), Cycle Time (tiempo entre el inicio de 2 Batch consecutivos), entre otros. Para especificar la información de la programación de un proceso, ir a la pestaña “Tasks” y seleccionar “Recipe Scheduling Information” (ver *Figura 72*).

Figura 72. Configuración de la receta



Fuente: Propia, octubre de 2016

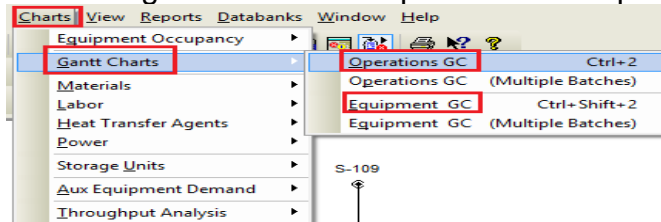
En el recuadro emergente se puede configurar el Numero de Lotes por Año, 20 por ejemplo (Number of Batches per Year = 20); especificar el Ciclo de la Receta que indica el número de horas por turno, 12 horas diarias por ejemplo (Recipe Cycle Time=12h); terminado el ingreso de datos, clic en actualizar (Update) e inmediatamente se entrega el número de horas trabajadas por año (AOT) (ver *Figura 73*).



Fuente: Propia, octubre de 2016

Llevada a cabo la configuración inmediatamente anterior, el programa calcula el número máximo de lotes posibles, el procedimiento más largo, cuellos de botella (equipos con el tiempo de ocupación más largo), entre otros. En este punto, se puede pasar a visualizar la programación de producción, utilización de equipos y seguimiento de recursos si se desea. Para hacer seguimiento a las operaciones del proceso, clic “Charts”, “Gantt Charts”, “Operations GC” (se visualizará en diagramas de Gantt las operaciones de un único lote o Batch, ver *Figura 74*).

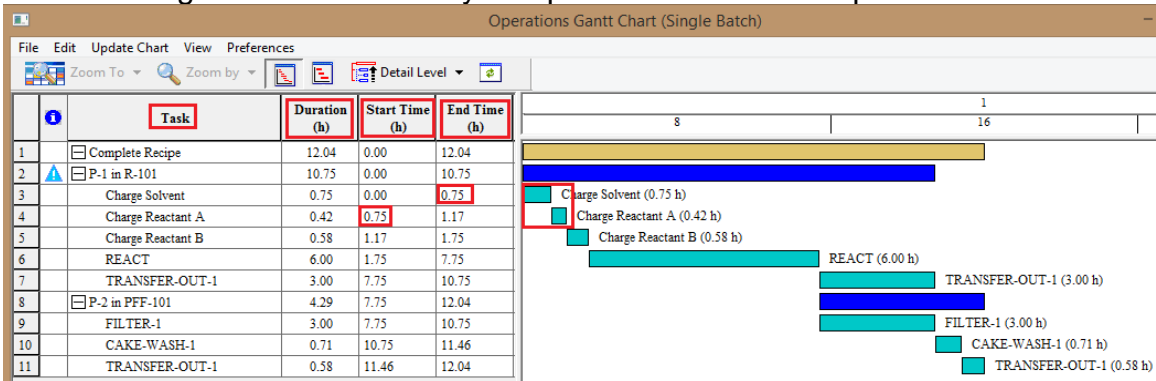
Figura 74. Seguimiento de las operaciones del proceso



Fuente: Propia, octubre de 2016

En el diagrama que se despliega se pueden apreciar las diferentes operaciones, su duración, tiempo de inicio, tiempo de finalización, y la representación en barras horizontales de las correspondientes operaciones (la presentación secuencial o paralela de las operaciones depende de los tiempos de inicio y finalización de las mismas, estos tiempos se configuran desde: dar clic sobre el equipo deseado, operation data, scheduling, timing, ver *Figura 75*).

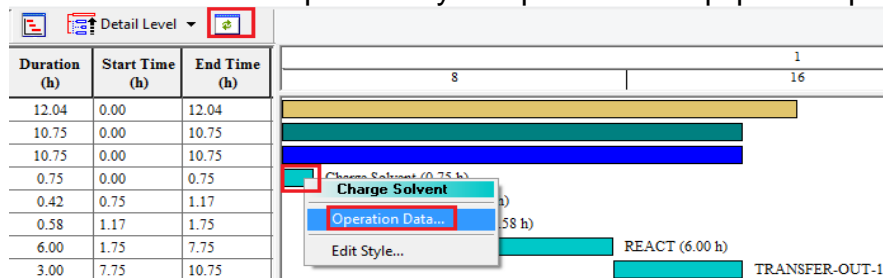
Figura 75. Secuencia y tiempo de las diferentes operaciones



Fuente: Propia, octubre de 2016

De la misma manera se puede generar el diagrama de Gantt para seguimiento a los equipos del proceso: clic “Charts”, “Gantt Charts”, “Equipment GC”; el diagrama que se despliega es similar al de “operaciones” y se resalta que los parámetros (start time, end time, etc.) pueden ser modificados desde el mismo diagrama de Gantt con clic derecho sobre la barra que corresponde a la operación deseada, “operation data”, una vez se realizan las modificaciones deseadas, clic en “Redo Calc & Update Chart” para actualizar (ver Figura 76).

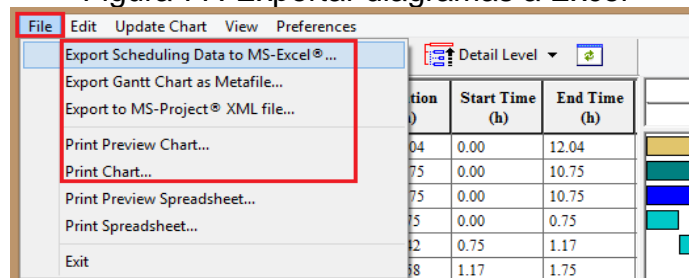
Figura 76. Secuencia de operación y tiempos de los equipos del proceso



Fuente: Propia, octubre de 2016

Estos diagramas pueden ser imprimidos o exportados a Excel u otros formatos, dando clic en “File”, seleccionar la opción deseada (ver Figura 77).

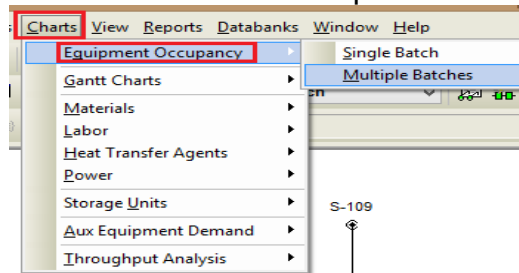
Figura 77. Exportar diagramas a Excel



Fuente: Propia, octubre de 2016

Ahora bien, es posible obtener diagramas para visualizar la ocupación de equipos (Equipment Occupancy Charts), dando clic en “Charts”, “Equipment Occupancy”, “Multiple Batches” o “Single Batch” (para Multiple Batches, por defecto aparecen 2 lotes, ver *Figura 78*).

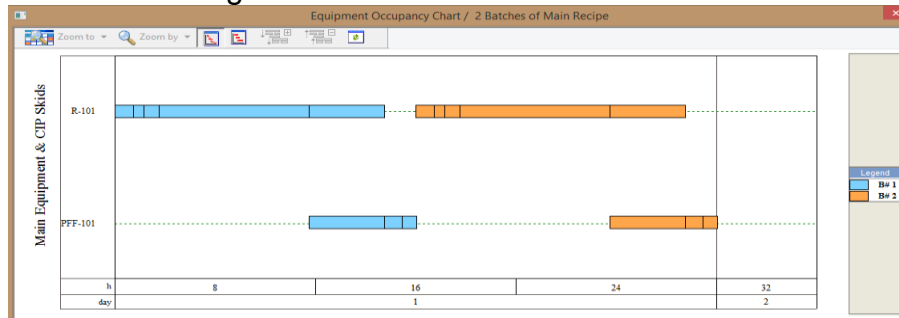
Figura 78. Visualización de la ocupación de los equipos



Fuente: Propia, octubre de 2016

Seleccionado el número de lotes que se desea visualizar (si se escoge “Multiple Batches”, por defecto aparecen 2 lotes), aparece un recuadro como el de la *Figura 79*:

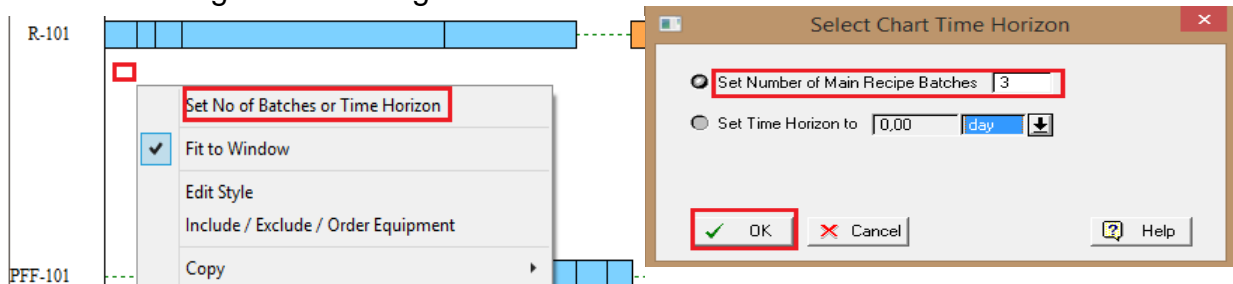
Figura 79. Visualización de dos lotes



Fuente: Propia, octubre de 2016

Para establecer un número de lotes cualesquiera, se debe dar clic en el espacio de trabajo y seleccionar “Set No Of Batches” (ver *Figura 80*).

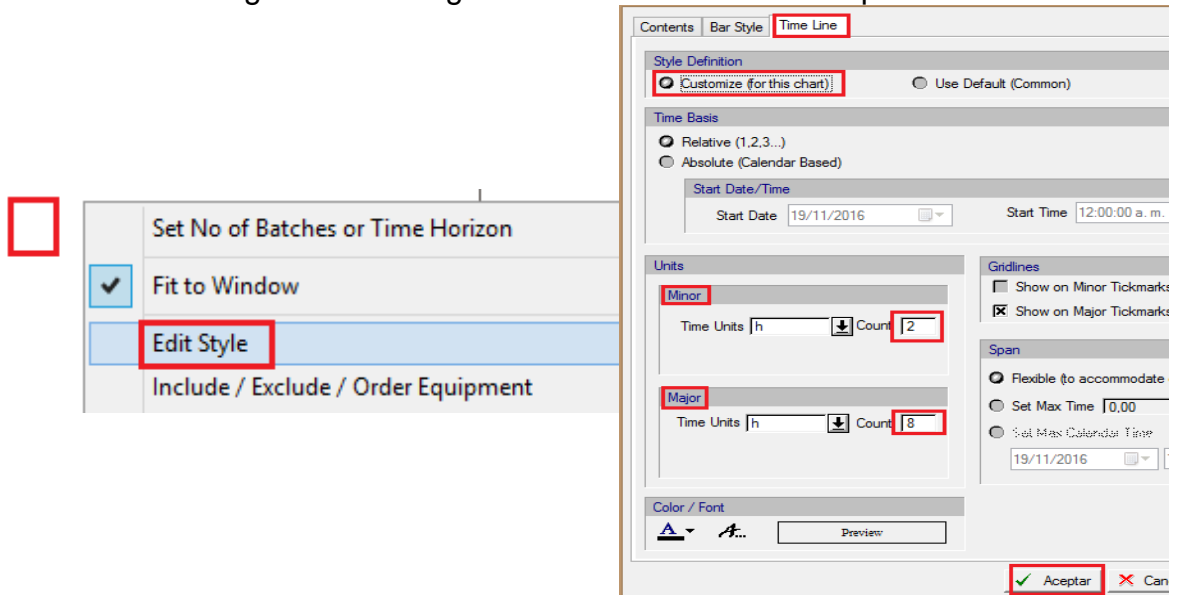
Figura 80. Configurar visualización de más de dos lotes



Fuente: Propia, octubre de 2016

Si se quiere cambiar la escala de tiempo (horas, días), se debe dar clic en el espacio de trabajo, “Edit Style”, “Time Line”, seleccionar “Customize”, ingresar los valores para la escala menor (Minor, 2 horas por ejemplo) y mayor (Major, 8 horas por ejemplo) (ver *Figura 81*).

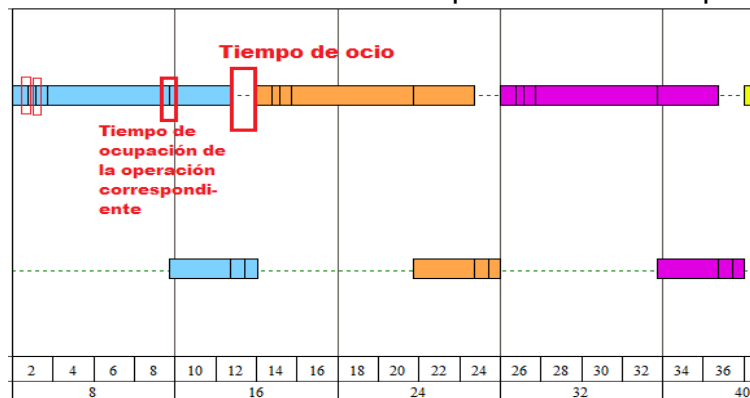
Figura 81. Configuración de la escala de tiempos



Fuente: Propia, octubre de 2016

Las líneas verticales dentro de la barra de un determinado color representan una operación determinada y a la vez muestran el tiempo de ocupación de la misma, los espacios en blanco entre una barra y la siguiente representan los tiempos de ocio en el proceso (ver *Figura 82*).

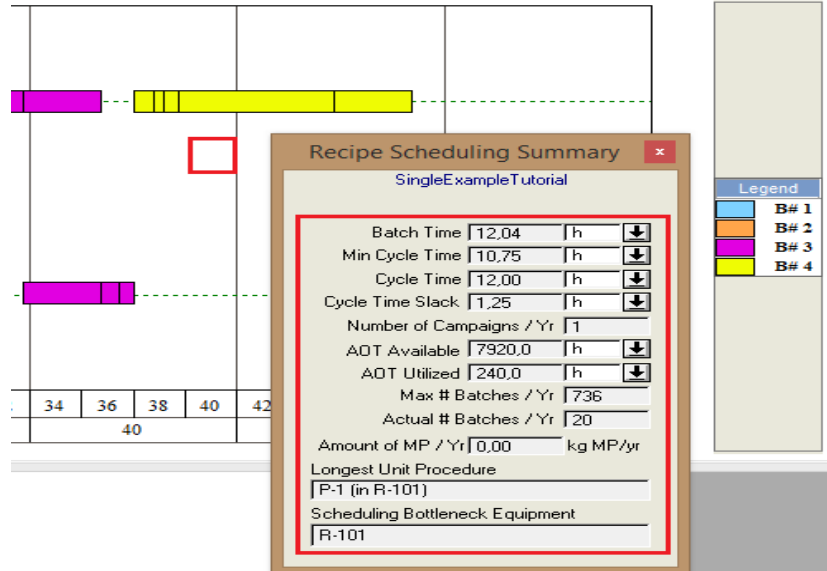
Figura 82. Visualización de los tiempos de ocio en el proceso



Fuente: Propia, octubre de 2016

Con clic-derecho sobre el espacio de trabajo y seleccionando “Scheduling Summary” se obtiene un resumen de parámetros importantes (tiempo por cada lote, lotes máximos por año y otros, ver *Figura 83*).

Figura 83. Resumen de algunos parámetros basados en lotes

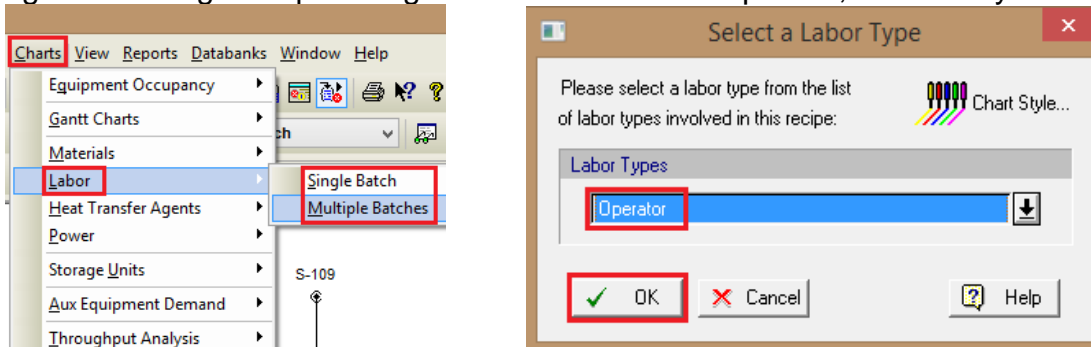


Fuente: Propia, octubre de 2016

Diagrama de demanda de recursos

Este diagrama es generado en función del tiempo (horas y días por ejemplo) y es posible generarlo para un seguimiento de materias primas, mano de obra, consumo energético, entre otros. Para generarlos, se debe dar clic en “diagramas” (Charts), tipo de diagrama deseado (Materials, Labor, Heat Transfer Agents, Power), cantidad de lotes (Single Batch, Multiple Batches) (ver *Figura 84*).

Figura 84. Diagrama para seguimientos de materias primas, consumo y otros

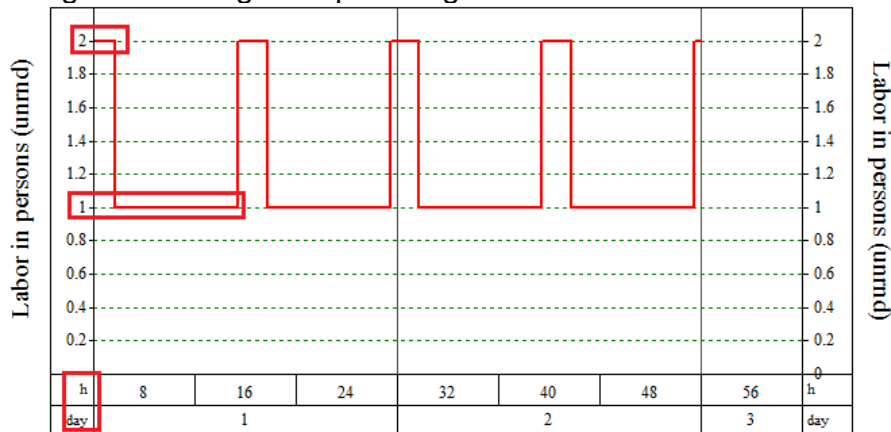


Fuente: Propia, octubre de 2016

Se despliega el diagrama correspondiente, que en caso de seguimiento a “mano de obra” (Labor) muestra la cantidad de operarios y el tiempo correspondiente en el que intervienen. Es posible modificar algunas características (número de lotes,

escala de tiempo) del diagrama siguiendo los mismos pasos que se mostraron en “diagrama para ocupación de equipos” (ver *Figura 85*).

Figura 85. Diagrama para seguimiento de la mano de obra

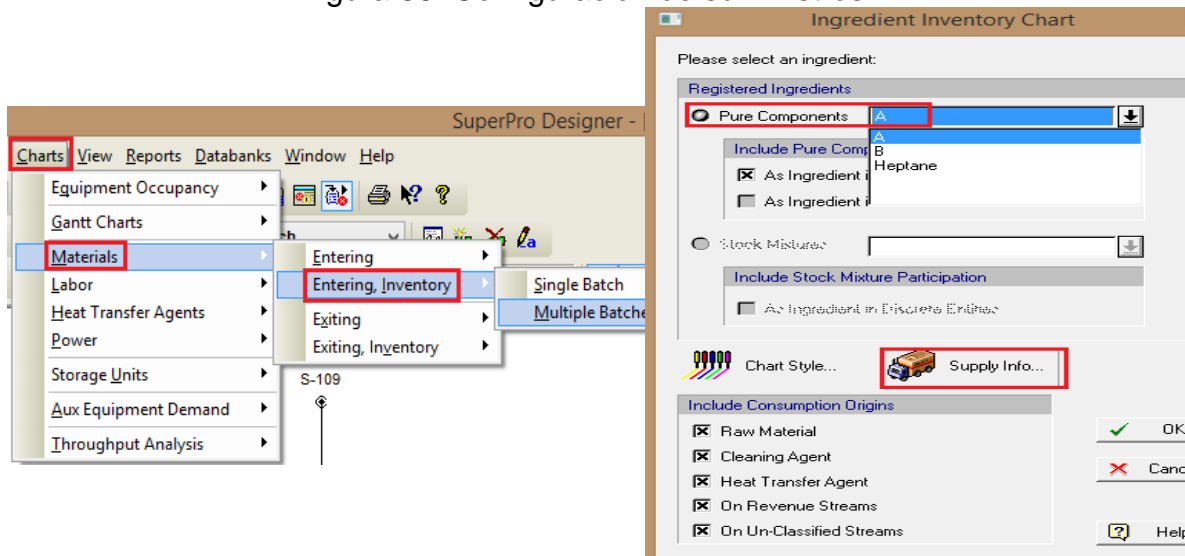


Fuente: Propia, octubre de 2016

Diagrama de inventario de recursos

En la pestaña “Charts”, seleccionar “Materials”, “Entering, Inventory”, “Multiple Batches” o “Single Batch” según se desee; seleccionar el ingrediente o componente (Registered Ingredients) e ir a la opción “Supply Info..” para ingresar la información de los suministros (ver *Figura 86*).

Figura 86. Configuración de suministros

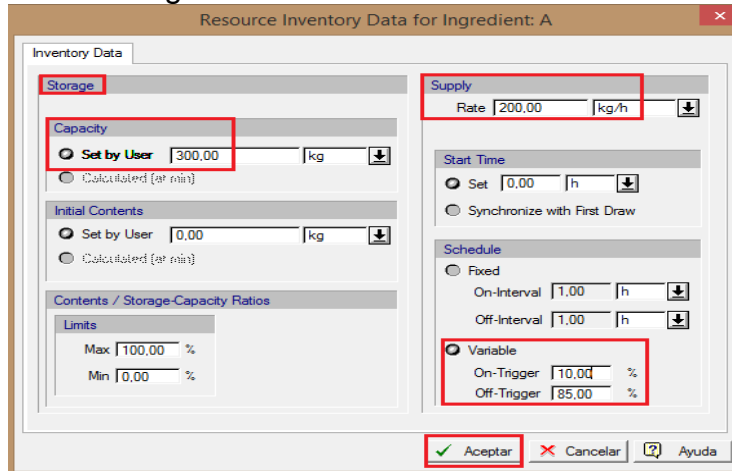


Fuente: Propia, octubre de 2016

Emerge el recuadro “datos de recursos de inventario de materiales” (Resource Inventory Data for Ingredient:), en el cual se especifica la capacidad del almacén (Capacity=300 Kg por ejemplo), magnitud de suministro (Rate=200 kg/h), alimentar

el almacén cuando la cantidad caiga un porcentaje (On-Trigger=10%) y dejar de alimentar el almacén cuando se alcance un porcentaje% de la capacidad total (Off-Trigger=85%) y finalmente se da clic aceptar (ver *Figura 87*).

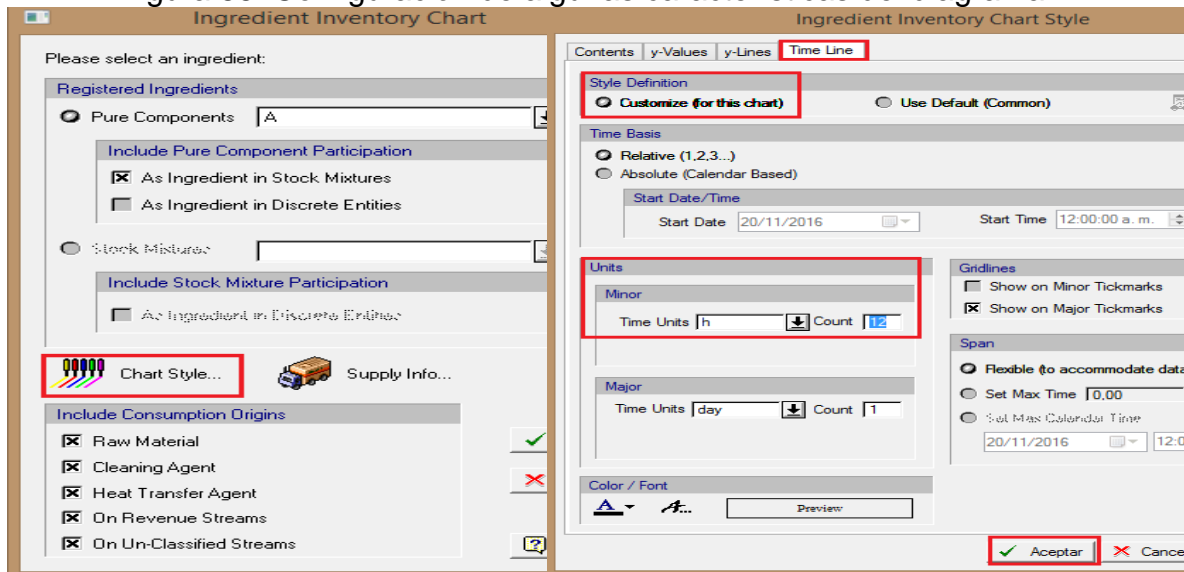
Figura 87. Recursos de inventario



Fuente: Propia, octubre de 2016

Seguidamente se configura algunas características del diagrama, se da clic en “estilo del diagrama” (Chart Style), en el recuadro emergente seleccionar “a la medida” (customize), en “unidades de tiempo” (Time Units) e ingresar el tiempo que se tenga predefinido para un lote (Time Units, Count=12 por ejemplo), el resto de parámetros se pueden dejar por defecto, dando clic aceptar (ver *Figura 88*).

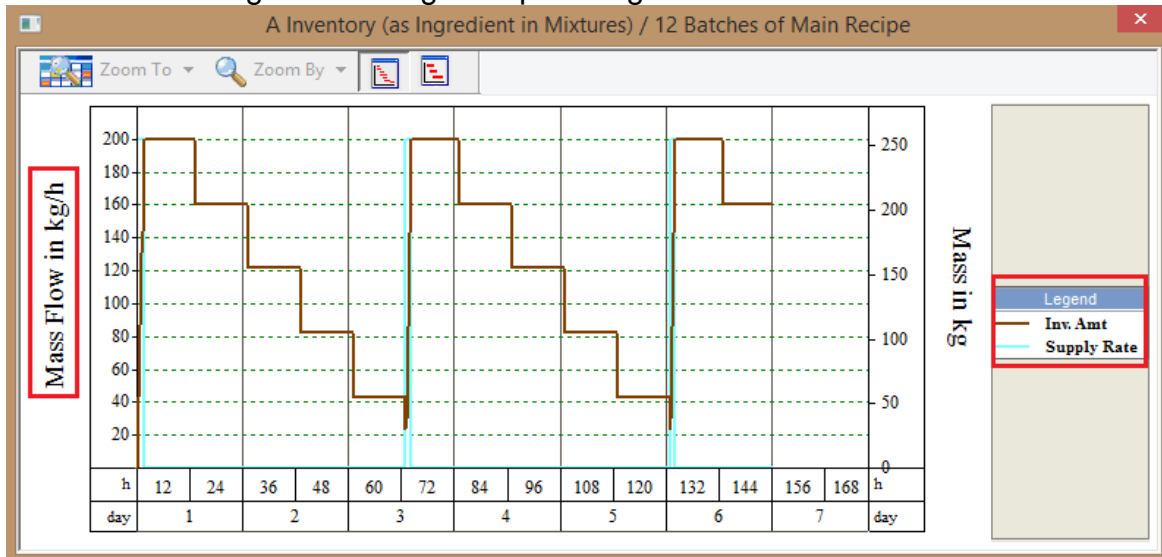
Figura 88. Configuración de algunas características del diagrama



Fuente: Propia, octubre de 2016

Se despliega el diagrama de seguimiento de inventario para un material determinado y se puede cambiar el “número de lotes presentados” para una mejor comprensión, dar clic derecho en el espacio de trabajo, “set of No Batches”, ingresar 12 por ejemplo. Se visualiza el comportamiento de los flujos de suministros a medida que se ejecutan los lotes (ver *Figura 89*).

Figura 89. Diagrama para seguimiento de inventario

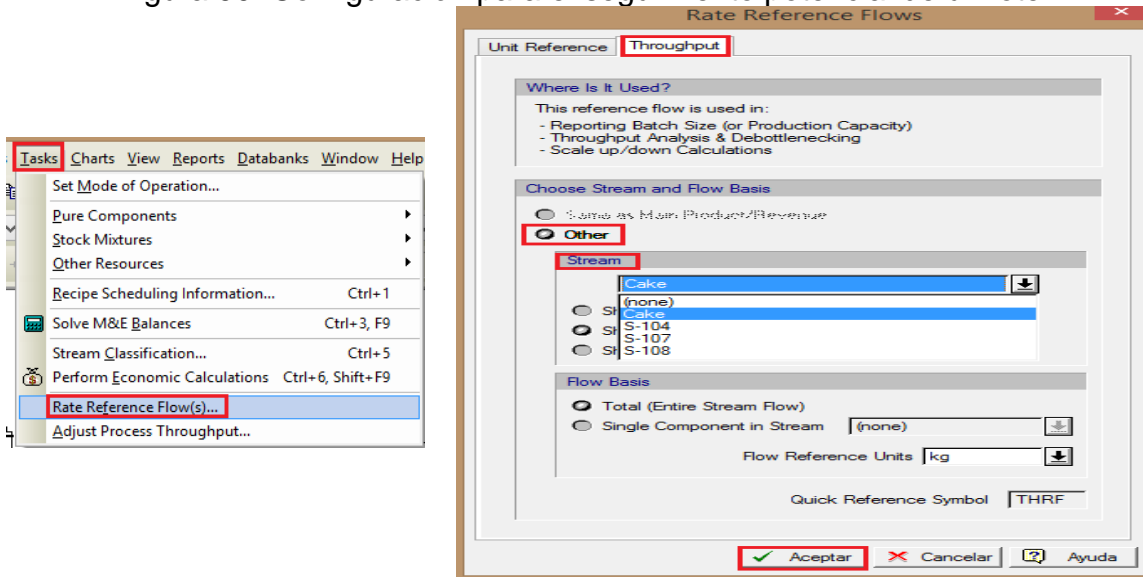


Fuente: Propia, octubre de 2016

Diagrama para seguimiento del “tamaño potencial de un lote”

SuperPro Designer hace una estimación del tamaño potencial que debería tener un lote del proceso que se está implementando. Para crear este diagrama, dar clic en “Tareas” (Task), “Flujo de referencia” (Rate Reference Flow), en el cuadro emergente seleccionar “Rendimiento”(Throughput) e ir a la sección “Elegir corriente” (Choose Stream), marcar “Otro” (Other), seleccionar una corriente de referencia y dar clic en “Aceptar”. Seguidamente, ir a la pestaña “Diagramas”(Charts), Análisis de Rendimiento (Throughput Analysis), “Tamaño potencial del lote” (Batch size potential), inmediatamente se despliega el diagrama que muestra el tamaño potencial de un lote, usando el flujo total de la corriente seleccionada en “Choose Stream” como rendimiento de referencia (ver *Figura 90*).

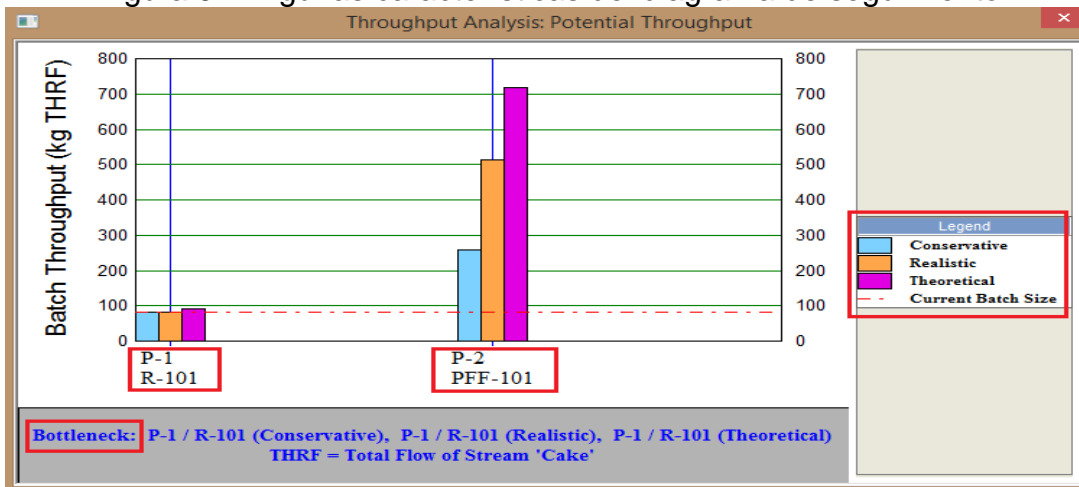
Figura 90. Configuración para el seguimiento potencial de un lote



Fuente: Propia, octubre de 2016

El diagrama muestra el tamaño del lote actual (línea roja horizontal punteada) y 3 estimaciones (conservativo, real, teórico) del tamaño potencial del Batch para el equipo que corresponde. Además, se indica en qué equipo puede presentarse un cuello de botella (ver Figura 91).

Figura 91. Algunas características del diagrama de seguimiento



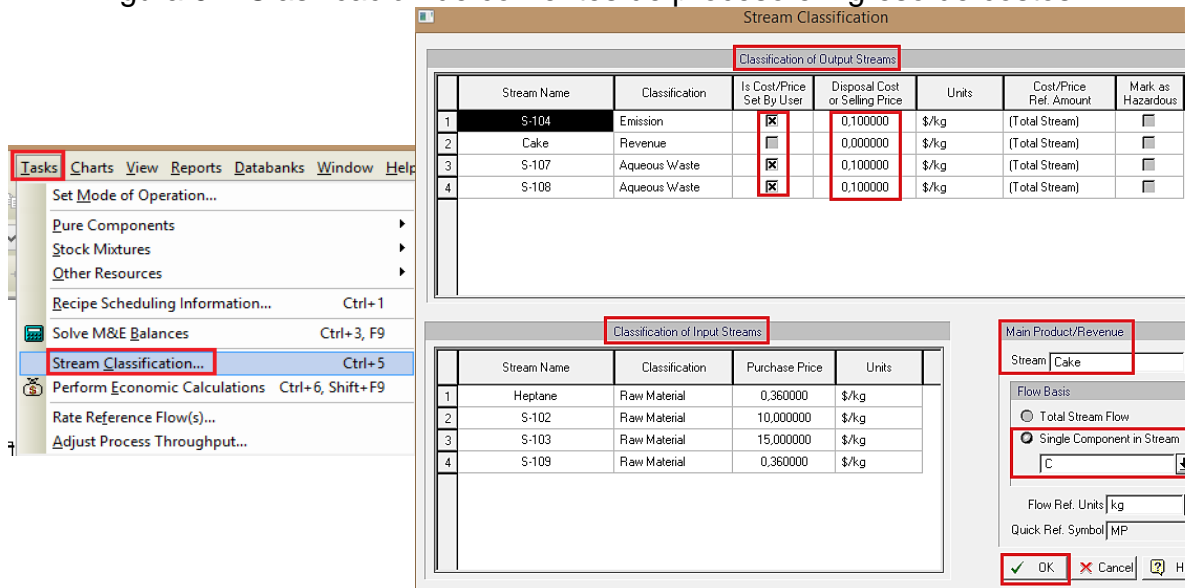
Fuente: Propia, octubre de 2016

Análisis de costos y evaluación económica

Datos de ingreso de suministros, materias primas y corrientes de desecho. Previo a un análisis de costos o evaluación económica, se deben clasificar las corrientes de entrada o salida (materias primas, suministros o residuos) como material sólido, acuoso, orgánico o gaseoso; se debe dar clic en "Tareas" (Task), "Clasificación de corrientes" (Stream Clasification..); en el recuadro emergente se pueden añadir

también algunos costos de los materiales, marcar las corrientes de entrada (Ouput Stream, en la opción “Cost/Price Set by User”) para las cuales se quiere ingresar el costo por kilogramo, seleccionar el producto principal en la opción “Main Product/Revenue, Stream” y especificar la corriente en la cual se basaran algunos costos por defecto (Single Component in Stream) y se da clic ok (ver *Figura 92*).

Figura 92. Clasificación de corrientes de proceso e ingreso de costos

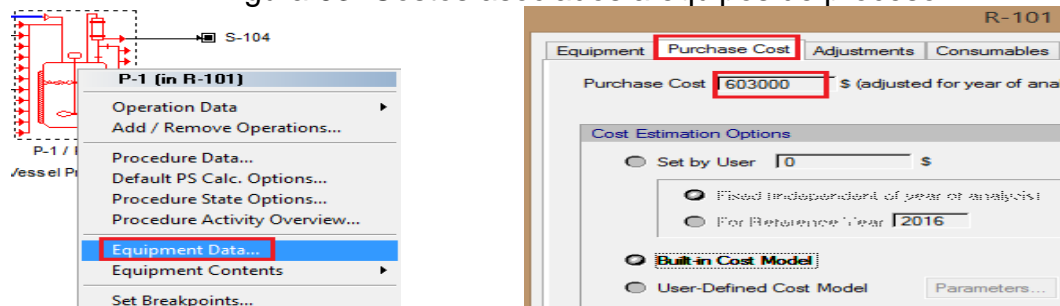


Fuente: Propia, octubre de 2016

Ajustar parámetros referentes a costos

Se pueden ingresar o modificar parámetros de costos a nivel de operaciones, equipos y proceso. A nivel de equipos, se puede acceder al precio de compra del equipo (Purchase Equipment), dando clic-derecho sobre un equipo, “Equipment Data”, “Purchase Cost”, se puede ver y editar el costo de compra del equipo (ver *Figura 93*).

Figura 93. Costos asociados a equipos de proceso

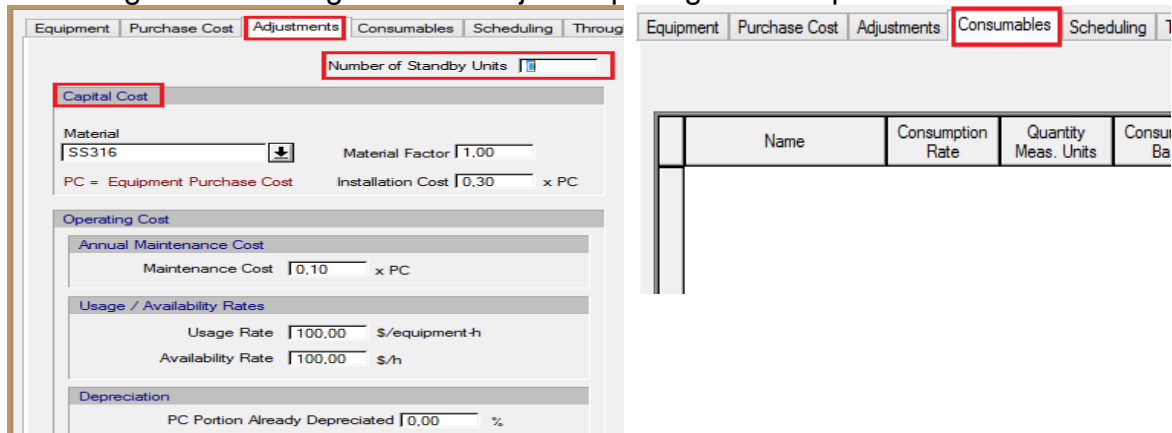


Fuente: Propia, octubre de 2016

Después de evaluar la pestaña “costo de compra” (Purchase Cost) se puede revisar la pestaña “ajustes” (Adjustments) en la cual, se puede modificar el campo “Standby

Units” (número de unidades en espera; cuando se tienen piezas de equipo que son críticas en una operación y quiere asegurarse continuidad con otra), “Material Factor” (referente al material en el que está construido el equipo), “Installation Cost” (Costo de Instalación; generalmente el 30% del costo total del equipo), “Annual Maintenance Cost” (Costo de Mantenimiento Anual; generalmente un 10% del costo total del equipo), “PC Portion Already Depreciated” (Depreciación). Además, en la pestaña “Consumables” (Consumibles) se pueden añadir materiales que se reemplazan periódicamente (filtros, lubricantes) (ver *Figura 94*).

Figura 94. Configuración de ajustes para generar reportes de costos



Fuente: Propia, octubre de 2016


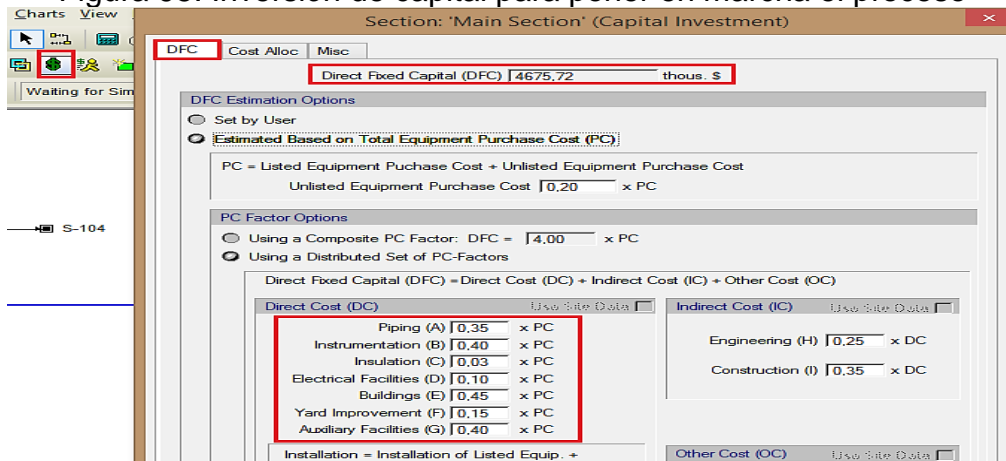
En la opción “Capital Cost Adjustments” (Ajustes de costo capital, ) , es posible hacer seguimiento al “Direct Fixed Capital - DFC” (Capital Fijo Directo) que refleja el costo de todos los parámetros que se describen en el recuadro y que permite tener una estimación de la inversión de capital que se necesita para poner en marcha el proceso (ver *Figura 95*).

Figura 95. Inversión de capital para poner en marcha el proceso



Fuente: Propia, octubre de 2016


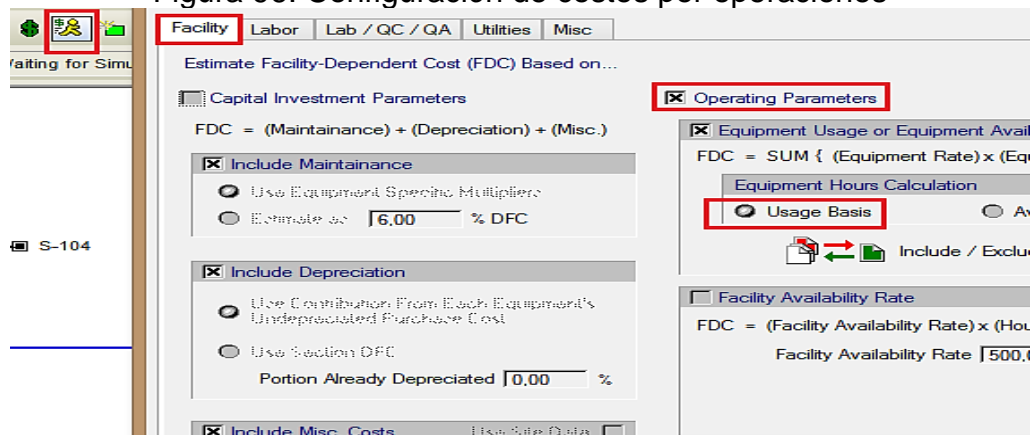
Se puede hacer seguimiento al Costo por Operaciones, ir a la pestaña “Operating Cost Adjustments” (Ajuste de costos por operaciones, ) para ajustar parámetros respecto a “Facility” (Instalaciones, donde se especifica que estos costos estén basados en el uso de equipos, Equipment Usage or Equipment Availability Rate); “Labor” (Mano de obra, donde se puede estimar el costo de la mano de obra basado en Horas Trabajadas y tarifa hora); “Lab/QC/QA” (Manejos de Laboratorio y Control de Calidad, donde se puede especificar información detallada de laboratorio, control de calidad, control y gastos de aseguramiento de la calidad); “Utilities” (Utilidades), entre otros. Se debe dar clic en “Aceptar” para guardar los cambios y volver al FlowSheet (ver *Figura 96*).

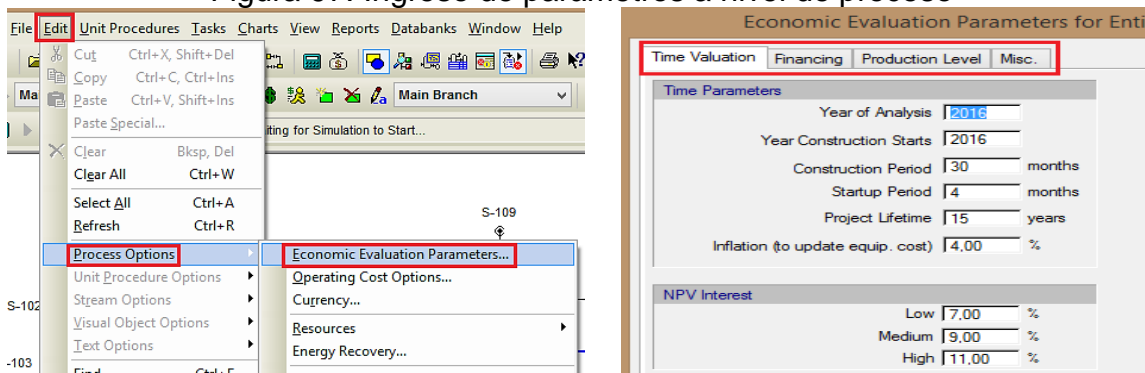
Figura 96. Configuración de costos por operaciones



Fuente: Propia, octubre de 2016

Para ingresar algunos parámetros a Nivel de Proceso, que permiten obtener una mejor Evaluación Económica, se da clic en “Edit”, “Process Options”, “Economic Evaluation Parameters”, en el cuadro desplegado se puede ingresar el año del análisis (Year of Analysis), tipo de financiación del proyecto (acciones, prestamos), impuestos, gastos de publicidad, entre otros (ver *Figura 97*).

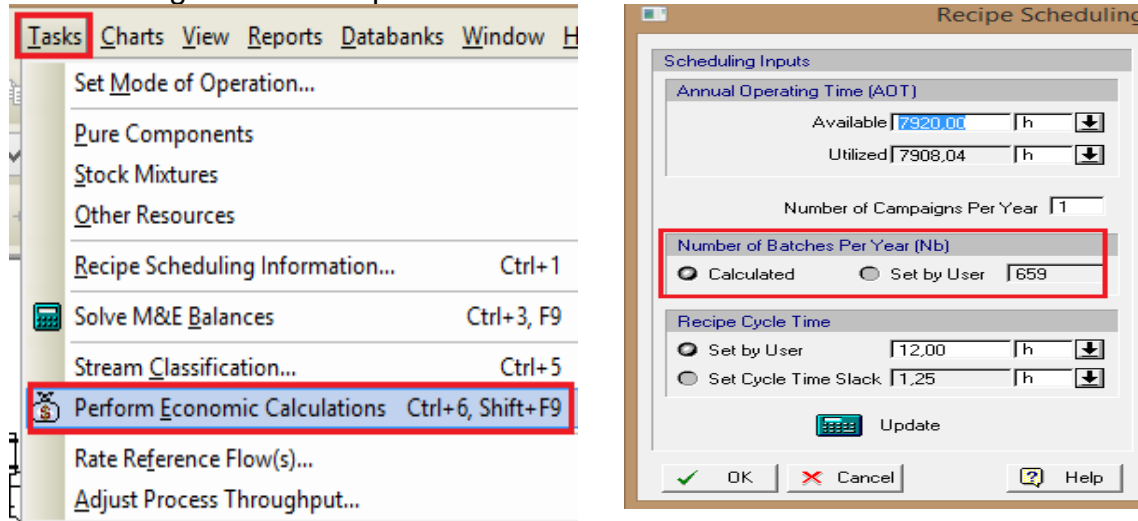
Figura 97. Ingreso de parámetros a nivel de proceso



Fuente: Propia, octubre de 2016

Finalmente, se puede acceder a la Estimación Económica Total y ver los resultados, dando clic en la opción “Task”, “Perform Economic Calculations” (realizar estimación económica) o ingresar Shift+F9, seguidamente ir a la opción “Task”, “Recipe Scheduling Information” y en la opción -Number of Batches per Year (Nb)- marcar la opción -Calculated- (Figura 98).

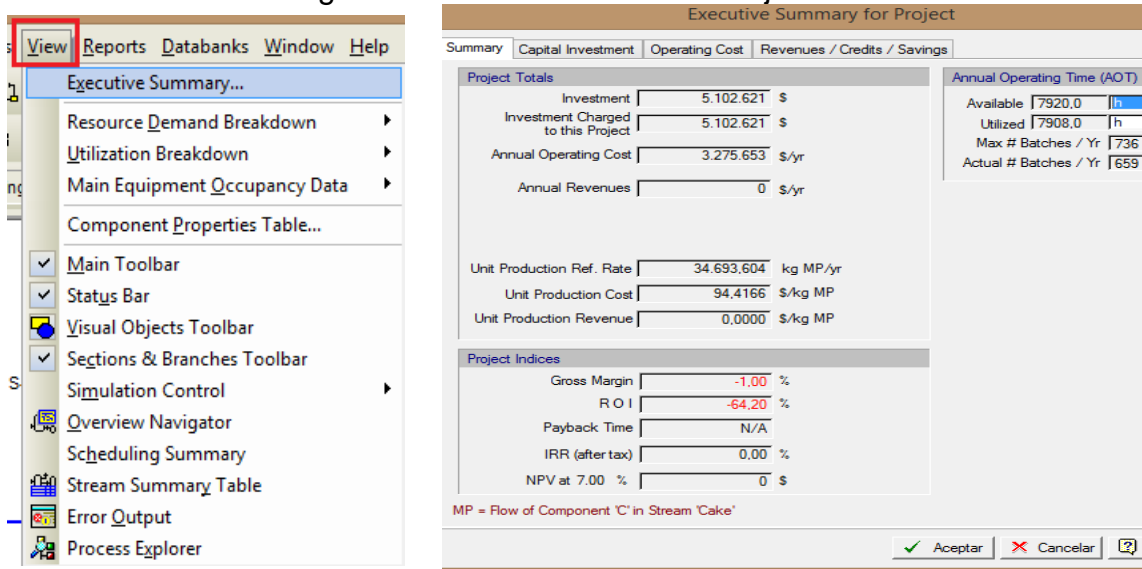
Figura 98. Ruta para visualizar la estimación económica total



Fuente: Propia, octubre de 2016

Una de las opciones más útiles es el “Execute Summary” (resumen ejecutivo), dando clic en la pestaña “View”, “Executive Summary”, en el cuadro emergente se pueden ver las estimaciones económicas totales de todo el proyecto (ver Figura 99).

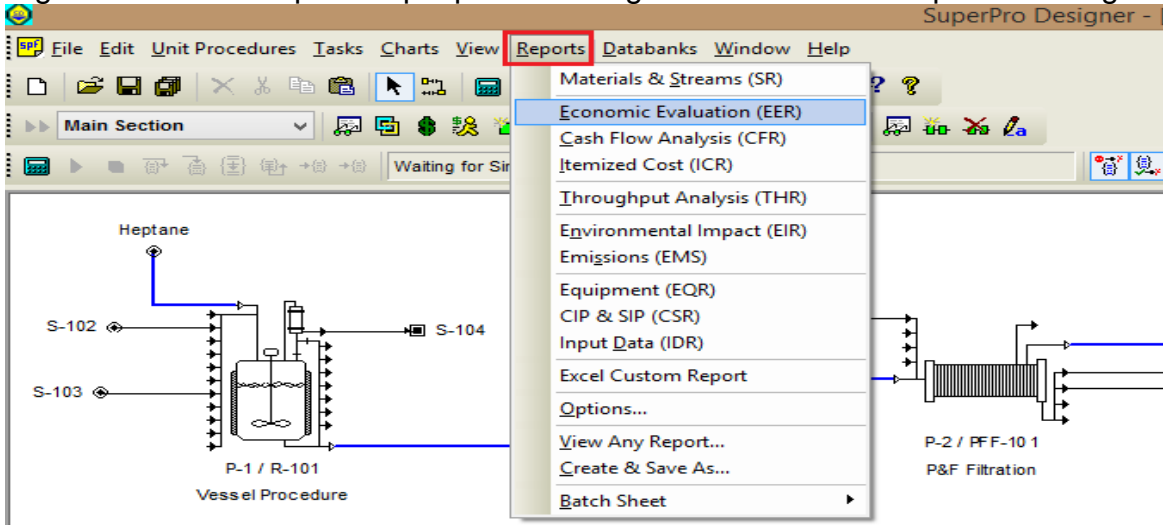
Figura 99. Vista de un resumen ejecutivo



Fuente: Propia, octubre de 2016

Además, es posible generar reportes importantes como “Economic Evaluación - EER” (estimación económica que permite ver cuáles fueron los parámetros usados para generar el Resumen Ejecutivo), “Cash Flow Analysis -CFR” (análisis del flujo de caja), “Environmental Impact -EIR” (impacto ambiental, que muestra cantidades y tipos de residuos obtenidos), generados desde la pestaña “Reports” (ver *Figura 100*).

Figura 100. Otros reportes que puede entregar la herramienta SuperPro Designer



Fuente: Propia, octubre de 2016

Anexo Digital I

9 Método_CHOI_&_OKOS_Prop_Fisicas

Anexo Digital J

10 Modelo_Matemático_Extrusor

Anexo Digital K

11 Validación_BM_Modelos_Secador

Anexo Digital L

12 Validación_BE_Modelos_Secador

Anexo Digital M

13 Validación_Modelos_Extrusor

Anexo Digital N

14 PROESBIPAY_PlantaPiloto

Anexo Digital O

15 Modelo_CAD_Cortado

Bibliografía

- [1] E. M. Narváez, “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.
- [2] C. A. Erazo Pino and C. A. Sanchez Belalcazar, “Diseño de un proceso de obtención de alimento para peces a nivel industrial en el marco del proyecto de regalías VRI 3883-SGR,” Tesis de Pregrado, Universidad del Cauca, 2015.
- [3] A. G. Pere Ponsa, “Diseño Y Automatizacion,” p. 30, 2007.
- [4] F. Ebel, S. Idler, G. Prede, and D. Scholz, “Fundamentos de la técnica de automatización. Libro técnico,” pp. 28–31, 2008.
- [5] C. A. Romero, “Niveles de automatización,” no. tabla 1. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2013.
- [6] ANSI-ISA, *Enterprise-Control System Integration Part 1: Models and Terminology*, no. July. 2000.
- [7] ANSI-ISA, *ISA-95.00.01 Enterprise-Control System Integration Part 1: Models and Terminology*, no. July. 2000.
- [8] Area Metropolitana Del Valle De Aburrá, “Manual Para el Manejo Integral de Residuos Sólidos en el Valle de Aburrá,” *Manual Para El Manejo Integral De Residuos En El Valle De Aburrá*. pp. 1–47, 2004.
- [9] C. Contreras, “Manejo Integral De Aspectos Ambientales- Residuos Sólidos,” *Pontificia Universidad Javeriana*. Bogotá, Colombia, p. 37, 2006.
- [10] E. S. de A. P. ESAP, “Plan De Gestion Integral De Residuos Sólidos.” Popayán, Cauca, pp. 1–14, 2015.
- [11] J. D. Gallo Riaño, “Guía Para el Adecuado Manejo de los Residuos Sólidos y Peligrosos,” *Revista*. Envigado, Antioquia, p. 32, 2011.
- [12] Memmert, “Estufas e incubadoras Memmert,” Memmert, Catalogo de Productos, 2015.
- [13] K. Rolle, *Termodinámica*, 6th ed. Pearson Educación, 2006.
- [14] Y. Cengel and A. Ghajar, *Transferencia de calor y masa*, 4th ed. México: McGraw-Hill Companies, 2011.
- [15] R. González Castellanos, “Principios Básicos de Escalado.” p. 125, 2000.
- [16] J. Rosabal, *Teoría de los modelos en Ingeniería de procesos*. Santiago de Cuba: Editorial Oriente, 1988.
- [17] U. De Sevilla, *Colección de tablas, gráficas y ecuaciones de transmisión de calor*, vol. 3. Sevilla, España: Universidad de Sevilla, 2014.
- [18] M. Beltrán Rico and A. Marcilla Gomis, “Extrusión,” *Tecnol. Polímeros*, pp. 102–167, 2012.
- [19] M. Niaounakis and M. Niaounakis, “Foaming and Foamed Products,” in *Biopolymers: Processing and Products*, 2015, pp. 327–359.
- [20] M. Sauceau, J. Fages, A. Common, C. Nikitine, and E. Rodier, “New challenges in polymer foaming: A review of extrusion processes assisted by supercritical carbon dioxide,” *Progress in Polymer Science (Oxford)*, vol. 36, no. 6. pp. 749–766, 2011.

- [21] F. Blanco, "Tema 7: Metodos de procesado, Extrusión." Oviedo, España, pp. 1–67, 2005.
- [22] I. Envasadoras, "Embolsadora de Carga por Gravedad," 2016. [Online]. Available: <http://www.ingesir.com.ar/maquinas/embolsadoras-ensacadoras-hasta-50-kg/embolsadora-para-bolsas-de-boca-abierta-carga-por-gravedad/>. [Accessed: 06-Nov-2016].
- [23] ABS, "Overview - A.B.S. - Flexible Silos für Pellets und Schüttgut," 2016. .
- [24] A. C. Yunus and J. M, *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones*, 1st ed. McGraw-Hill, 2006.
- [25] N. Onita and E. Ivan, "Estimation of the specific heat and thermal conductivity of foods only by their classes of substances contents (water, proteins, fats, carbohydrates, fibers and ash)," *Agroaliment. Process. Technol.*, vol. XI, no. 1, pp. 217–222, 2005.
- [26] Comestibles Juanshis, "Pasabocas de Maíz Expandido Juanshis." [Online]. Available: <http://www.juanshis.com/conócenos/>. [Accessed: 08-Sep-2016].
- [27] J. E. Idarraga, "Juanshis, Pasabocas Snacks," 2016. [Online]. Available: http://1080.plus/Chitos_Juanshis_pasabocas_snacks_flv/Rq8_Or4Zkek.vide o. [Accessed: 02-Sep-2016].
- [28] R. M. Arias, G. Pérez, and C. Durán, "Condiciones de operación de extrusores de tornillo simple para mezclas de harina de trigo. Parte 2: Montaje, arranque y operación de una planta industrial," *Tecnol. Ciencia, Educ.*, vol. 22, no. 222, pp. 67–77, 2007.
- [29] L. M. R. Velásquez and M. J. N. Zambrano, "Diseño de una Planta Piloto Para la Producción de Bixina," Trabajo de pregrado, Universidad Industrial de Santander, Colombia, 2006.
- [30] J. G. Fernandez, "Características y Funcionalidad de los Equipos." Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.
- [31] C. Talsa, "Batidora Industrial," 2016. [Online]. Available: <http://www.citalsa.com/>. [Accessed: 02-Nov-2016].
- [32] JAVAR, "Batidora Planetaria de Piso," 2016. [Online]. Available: <http://javar.com.co/panaderia/>. [Accessed: 03-Nov-2016].
- [33] I. Taylor, "Batidora Industrial Multiproposito," 2016. [Online]. Available: http://www.industrialtaylor.com.co/component/page,shop.product_details/flypage,shop.flypage/product_id,81/category_id,210/manufacture r_id,0/option,com_virtuemart/Itemid,35/. [Accessed: 03-Nov-2016].
- [34] P. Mechatronics, "Bascula Ensacadora Electrónica," 2016. [Online]. Available: <http://www.paglierani.com/es/productos/envasadoras-automaticas-industriales-sistemas-envasado/>. [Accessed: 02-Nov-2016].
- [35] K. Engineering, "Maquina Ensacadora de Pellets," 2016. [Online]. Available: <http://www.plantaspeletizadoras.com/Ensacadora-de-pellets.html>. [Accessed: 04-Nov-2016].
- [36] INTELLIGEN INC., "SuperPro ® Designer User Guide," no. 908. 2326 Morse Avenue - Scotch Plains, NJ 07076 - USA, p. 516.
- [37] D. de Procesos, "S u p e r P r o D e s i g n e r ®." p. 19, 2005.