

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE  
ENERGÍA EN UNA PLANTA PRODUCTORA DE HARINA**



**LILIANA ISABEL CASTELLÓN CERÓN  
NATALÍ MADARIAGA GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
CARTAGENA DE INDIAS D.T Y C.**

**2012**

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE  
ENERGÍA EN UNA PLANTA PRODUCTORA DE HARINA**

**LILIANA ISABEL CASTELLÓN CERÓN**

**NATALÍ MADARIAGA GÓMEZ**

**Tesis de Grado**

**Lesly Tejeda Benítez, MSc  
(Directora del Proyecto)**



**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA QUÍMICA  
CARTAGENA DE INDIAS D.T Y C  
2012**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

## **DEDICATORIA**

*Dedicamos este trabajo*

*A **DIOS** quien nos dio todo lo que necesitábamos para lograr este triunfo al poner nuestra confianza en Él y reconocer que esperar en Él nos da nuevas fuerzas, nos permite levantar alas como las águilas; sin cansarnos ni fatigarnos.*

*A nuestros **FAMILIARES** por saber que siempre contamos con ellos y por brindarnos los consejos y el impulso necesario para avanzar cada día a cumplir nuestras metas.*

*A nuestros **PROFESORES** que con su empeño y conocimiento nos dieron una muy buena preparación para ser grandes profesionales y enseñarnos la manera de enfrentar las etapas de la vida.*

*A nuestros **AMIGOS** por creer en nosotras, acompañarnos en el proceso y darnos su apoyo incondicional en todo momento. En especial a Rodolfo Herrera y Vanessa Caraballo por todo el tiempo que nos dedicaron.*

*¡¡Gracias por Todo!!*

*“El temor del SEÑOR es el principio del conocimiento”*

*Proverbios 1:7<sub>a</sub>*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradecemos infinitamente*

*A Dios nuestro Padre Celestial  
por guiarnos a alcanzar este logro.*

*A nuestros Directores de Tesis, MSc. Lesly P. Tejeda Benítez y MSc. Juan G. Fajardo  
Cuadro, por su generosidad al brindarnos la oportunidad de recurrir a sus  
capacidades y experiencias en un marco de confianza, afecto y amistad,  
fundamentales para la realización de este trabajo.*

*A los Ingenieros Rodrigo Ricardo, Nilson Carillo y Miguel Ángel Mueses  
por sus valiosas sugerencias y acertados aportes  
durante el desarrollo del proyecto.*

*A la Universidad de Cartagena y a la Facultad de Ingenierías  
por ofrecernos una educación integral y capacitarnos  
para el excelente desarrollo del proyecto.*

*A la empresa Rafael del Castillo y Cía.  
por su colaboración en la elaboración de este trabajo.*

*A nuestros padres y hermanos  
por su apoyo y ayuda incondicional.*

**Natalí Madariaga Gómez y Liliana Isabel Castellón Cerón**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN .....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
2. JUSTIFICACIÓN .....	3
3. OBJETIVOS .....	4
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO .....	4
4. MARCO TEÓRICO .....	5
4.1. PRINCIPIOS BÁSICOS TERMODINÁMICOS EN EL ANÁLISIS DE SISTEMAS .....	5
4.1.1. Primera Ley de la Termodinámica.....	6
4.1.2. Segunda Ley de la Termodinámica.....	8
4.1.3. Procesos Irreversibles.....	9
4.1.4. Producción de trabajo mecánico. Estado muerto.....	10
4.1.5. Volumen de Control.....	10
4.2. ANÁLISIS EXERGÉTICO .....	13
4.2.1. Concepto de Exergía .....	13
4.2.2. Ecuación del Balance Exergético.....	15
4.2.3. Diagramas de Flujo Exergético .....	18
4.2.4. Criterios de eficiencia utilizados en el análisis de exergía .....	19
4.2.4.1. Eficiencia exergética .....	19
4.2.4.2. Razones de destrucción y pérdida de exergía.....	20
4.3. CONCEPTO DE TERMOECONOMÍA .....	22
4.4. ANÁLISIS Y MODELO TERMOECONÓMICO .....	24
5. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE .....	25

6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN EN ESTUDIO .....	33
6.1 RECIBO Y ALMACENAMIENTO DEL TRIGO .....	34
6.2 LIMPIEZA Y ACONDICIONAMIENTO DEL TRIGO .....	35
6.2.1 Limpieza .....	35
6.2.2 Reciclaje de Impurezas .....	36
6.2.3 Reposo y Acondicionamiento .....	36
6.3 MOLIENDA .....	37
6.4 EMPACADO.....	40
7. MATERIA PRIMA Y PRODUCTO ELABORADO .....	43
7.1 EL TRIGO.....	43
7.1.1 Estructura del trigo.....	43
7.1.2 Composición química del grano de trigo.....	45
7.1.3 Características de los principales componentes del trigo.....	47
7.1.4 Clasificación del trigo.....	48
7.1.5 Mercado y usos del trigo.....	51
7.2 PRODUCCIÓN DEL TRIGO EN EL PAÍS .....	53
7.3 HARINA DE TRIGO .....	53
7.3.1 Composición de la Harina de Trigo.....	54
7.3.2 Control de Calidad de la Harina.....	56
7.4 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO TERMINADO .....	58
7.4.1 Línea de Especialidad .....	59
7.4.2 Línea de Panificación.....	60
8. METODOLOGÍA.....	62
8.1 METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS EXERGÉTICO .....	65
8.1.1 Especificación de los volúmenes de control.....	65
8.1.2 Definición del ambiente de referencia del sistema .....	66
8.1.3 Simplificaciones.....	66
8.1.4 Análisis de los componentes del sistema.....	67

8.1.5 Análisis exergoeconómico.....	67
8.2 METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS TERMOECONÓMICO.....	68
8.3 ESTRATEGIA DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE ENERGÍA.....	68
9. CÁLCULOS Y RESULTADOS .....	69
10. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	82
11. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	91
12. RECOMENDACIONES - ESTRATERGIA URE .....	92
13. CONCLUSIONES.....	100
BIBLIOGRAFIA.....	102



## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Capacidad de Almacenamiento de Silos y Tolvas. ....	35
Tabla 2. Balance de Materia General Empresa Harina 3 Castillos. ....	39
Tabla 3. Presentación Líneas de Producción. ....	41
Tabla 4. Distribución de los componentes más importantes del grano de trigo en las principales porciones morfológicas de este (en %). ....	46
Tabla 5. Clasificación del Trigo. ....	51
Tabla 6. Descripción del producto Harina Tres Castillos. ....	59
Tabla 7. Descripción del producto Elite. ....	60
Tabla 8. Lista de Variables. ....	64
Tabla 9. Balance de masa Global del Proceso de Producción. ....	69
Tabla 10. Balance de masa de la Separadora y la Pulidora. ....	70
Tabla 11. Balance de masa en el humectador. ....	70
Tabla 12. Balance de masa global de la Harina Tres Castillos. ....	71
Tabla 13. Resultados del Análisis exergético en los volúmenes de control de la planta. ....	79
Tabla 14. Costos Exergoeconómicos del proceso. ....	80
Tabla 17. Valores medidos para MDDP (valores orientativos) ....	111
Tabla 18. Valores medidos para MDDQ (valores orientativos) ....	112
Tabla 19. Banco de Molienda de cuatro cilindros MDDP ....	112
Tabla 20. Banco de Molienda de ocho cilindros MDDQ ....	112
Tabla 21. Datos técnicos Plansifter MPAP. ....	120
Tabla 22. Pesos y Dimensiones Plansifter MPAP. ....	120

Tabla 23. Datos acústicos Plansifter MPAP.....	121
Tabla 24. Datos técnicos Cepilladora de Salvado MKLA. ....	125
Tabla 25. Datos técnicos Despuntadora Horizontal.....	127
Tabla 26. Datos técnicos Canal de Aspiración. ....	130

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Flujos de Exergía asociados a un volumen de control. ....	16
Figura 2. Descripción Esquemática del Proceso de Producción Harina de Trigo. ....	34
Figura 3. Reposo y Acondicionamiento del Trigo Planta 2 .....	37
Figura 4. Proceso de Limpieza y Molienda de la Harina de Trigo.....	39
Figura 5. Proceso de Empaque de la Harina de Trigo. ....	40
Figura 6. Sección longitudinal del grano de trigo.....	44
Figura 7. Etapas Seleccionadas para Análisis Exergético.....	63
Figura 8. Analizador infrarrojo cercano Spectrastar 2400 .....	106
Figura 9. Pinza amperimétrica kyoritsu digital clamp meter snapkew 2017 .....	108
Figura 10. (a) Banco de molienda de cuatro cilindros MDDP y (b) Banco de molienda de ocho cilindros MDDQ.....	109
Figura 11. Plansifter MPAP. ....	115
Figura 12. Tipos de Bastidores: (a) Tipo N y (b) Tipo B.....	118
Figura 13. Abertura de Malla del Tamiz. ....	119
Figura 14. Vibro MKVA.....	122
Figura 15. Cepilladora de Salvado MKLA. ....	124
Figura 16. Pulidora. ....	126
Figura 17. Canal de Aspiración MVSG – 100 .....	128

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>Pág.</b>
Gráfica 1. Diagrama de Sankey de la exergía de entrada. ....	83
Gráfica 2. Distribución de la Exergía fuel total en el proceso. ....	84
Gráfica 3. Índice de Pérdidas ( $Y_L$ ).....	86
Gráfica 4. Índice de Pérdidas ( $Y_L^*$ ). ....	86
Gráfica 5. Índice de Destrucción ( $Y_D$ ).....	88
Gráfica 6. Índice de Destrucción ( $Y_D^*$ ).....	88
Gráfica 7. Eficiencia Exergética $\epsilon_{ex}$ . ....	89

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO 1. Analizador infrarrojo cercano Spectrastar 2400.....	106
ANEXO 2. Pinza amperímetrica kyoritsu digital clamp meter snap kew 2017 .....	108
ANEXO 3. Banco de molienda de cuatro y ocho cilindros .....	109
ANEXO 4. Plansifter MPAP.....	115
ANEXO 5. Vibro-tamiz o turbo- cernedor MKVA.....	122
ANEXO 6. Cepilladora de salvado MKLA .....	124
ANEXO 7. Pulidora.....	126
ANEXO 8. Canal de aspiracion MVSG -100.....	128
ANEXO 9. Muestreo de las propiedades fisicoquímicas de las corrientes y temperaturas	131
ANEXO 10. Propiedades termodinamicas de los volúmenes de control.....	144
ANEXO 11. Diagramas y balances por volúmenes de control .....	151
ANEXO 12. Balance de masa por volúmenes de control .....	165
ANEXO 13. Balances de energía por volúmenes de control .....	168
ANEXO 14. Balances de entropía por volúmenes de control.....	171
ANEXO 15. Balances de exergía por volúmenes de control .....	173
ANEXO 16. información de motores electircos.....	177

## NOMENCLATURA

$\dot{m}$	: Flujo másico, Kg/s , Ton /h
$\dot{Q}$	: Tasa de transferencia de calor, KJ
$\dot{W}$	: Trabajo, KJ
$h$	: Entalpia especifica, KJ/Kg
$\dot{v}$	: Velocidad, m/s
$g$	: Fuerza de gravedad, m/s <sup>2</sup>
$z$	: Altura, m
$\dot{S}$	: Entropía, KJ/K
$T$	: Temperatura, K
$C_p$	: Calor especifico, KJ/ Kg K
$s$	: Entropía especifica, KJ/Kg K
$e$	: Exergía especifica, KJ/ Kg K
$U$	: Energía Interna, KJ
$H$	: Entalpia, KJ
$EK$	: Energía Cinética, KJ
$EP$	: Energía Potencial, KJ
$p$	: Presión, KPa
$\dot{E}$	: Exergía, KJ/K
$v$	: Volumen, m <sup>3</sup>
$\varepsilon$	: Eficiencia, %
$P$	: Potencia, W

$I$  : Intensidad, A  
 $V$  : Voltaje, V  
 $M$  : Humedad del trigo  
 $w_m$  : Porcentaje de humedad, %  
 $w_p$  : Porcentaje de proteínas, %  
 $CE$  : Costos exergoeconómicos, \$

### **Subíndices**

$i$  : Entrada  
 $e$  : Salida  
 $net$  : Neto  
 $j$  : Fuente de calor  
1 : Estado inicial  
2 : Estado final  
 $o$  : Medio ambiente  
 $ref$  : Estado de referencia  
 $vc$  : Volumen de control  
 $gen$  : Generación  
 $D$  : Destrucción  
 $Q$  : Calor  
 $W$  : Trabajo  
 $L$  : Perdidas  
 $P$  : Producto

$F$  : Fuel  
 $ex$  : Exergía  
 $tot$  : Total  
 $p$  : Presión constante

### **Superíndices**

$PH$  : Física, total  
 $K$  : Cinética, total  
 $P$  : Potencial, total  
 $CH$  : Química, total



## **RESUMEN**

La presente investigación se fundamenta en la aplicación del método de análisis exergético y exergoeconómico al proceso de producción de harina de trigo de la empresa RAFAEL DEL CASTILLO & CÍA, delimitado a la etapa de limpieza, acondicionamiento, y molienda, con el objetivo de alcanzar un ahorro energético, mediante la implementación de mejoras que reduzcan las pérdidas exergéticas, logrando un aumento en la eficiencia del sistema.

Con la metodología llevada a cabo fue necesario realizar los balances de masa, energía, entropía y exergía para las etapas seleccionadas. Luego, se calcularon las razones de pérdidas y destrucción de exergía para cada volumen de control así como su eficiencia exergética y, posterior a esto, se realizó una evaluación económica de estas pérdidas, lo que se llama análisis exergoeconómico. Sin embargo, este análisis muestra que la etapa de molienda es altamente irreversible y, que las razones de pérdida y destrucción de exergía en el proceso son elevadas.

Lo anterior representa una menor posibilidad de sugerir modificaciones al proceso para aumentar su eficiencia, no obstante este estudio permitió apreciar el comportamiento de los equipos seleccionados y proponer recomendaciones basados en una estrategia de Uso Racional y Eficiente de la Energía, algunas de las cuales requieren inversión económica, pero garantizan un ahorro energético y económico a un corto o mediano plazo.

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, son muchos los problemas que sufre el planeta Tierra a causa del mal uso de los recursos no renovables, por esto, ha sido de gran importancia encontrar nuevas fuentes de energías alternativas. Sin embargo, los métodos para la obtención todavía siguen siendo material de estudio, puesto que los costos son elevados, por lo cual, ha sido de mayor interés el implementar nuevas tendencias enfocadas al ahorro energético y a la reducción del impacto ambiental.

Muchas empresas han implementado estas estrategias obteniendo muy buenos resultados, a la vez que el proceso aumenta su eficiencia energética, lo cual, se ve reflejado en una disminución de costos, con un producto más competitivo en el mercado, amigable con el medio ambiente e involucrado con el desarrollo sostenible.

Por lo anterior, la empresa productora de harina de trigo RAFAEL DEL CASTILLO & CIA S.A.MOLINO TRES CASTILLOS considera de gran importancia adaptarse a una política de uso racional y eficiente de energía, a través de la aplicación de un Análisis Exergético y Termoeconómico a su proceso de producción, teniendo como objetivo identificar las pérdidas de exergía y emisiones exergéticas al ambiente durante la fase de utilización de cada equipo, las cuales al ser reducidas representan un ahorro en la producción, que se traduce en competitividad de la zona local y nacional.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En Colombia, existe desde hace tiempo un gran temor por los elevados costos sociales y medioambientales asociados a la energía. A causa de estos problemas que están afectando al medio ambiente ha crecido el interés y la preocupación por buscar e implementar nuevas tendencias apuntadas hacia el desarrollo de productos, procesos y tecnologías que generen un impacto ambiental reducido, como el ahorro de energía, la reducción de emisiones, el tratamiento de efluentes, entre otras.

Sin embargo, para el caso de los procesos de producción ya establecidos, las alternativas son aplicar estudios para contabilizar los posibles impactos al medio ambiente e identificar soluciones viables que permitan enmarcar los procesos dentro de un sistema de desarrollo sostenible.

Hoy día, son pocos los estudios que se han hecho relacionados con el análisis exergético en la industria harinera, por lo tanto, no es posible encontrar gran cantidad de material bibliográfico. En la empresa Rafael del Castillo & Cía. S.A. Molino Tres Castillos se vio la oportunidad de realizar un análisis exergético, y podría ser una herramienta útil que permitirá calcular los distintos costos de operación de los equipos y proponer una estrategia de Uso Racional y Eficiente de Energía garantizando un proceso de producción más económico, competitivo y generador de un menor impacto ambiental.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Desde el punto de vista ambiental, el ahorro y el mejor uso de la energía implican una disminución del impacto sobre el ambiente local y global, además un buen uso de los recursos energéticos no renovables; en los últimos años ha tomado gran auge los métodos utilizados para evaluar e incrementar la eficiencia energética de los procesos industriales y en consecuencia reducir los impactos ambientales.

En particular, hablamos del análisis exergético el cual nos permite obtener la información necesaria para mejorar el sistema basándose en el segundo principio de la termodinámica y en el concepto de exergía lo que contribuirá a la eficiencia energética de la red de procesos.

Por esta razón, se toma en consideración el estudio de la planta productora de harina de trigo RAFAEL DEL CASTILLO & CIA S.A. MOLINO TRES CASTILOS para minimizar las pérdidas de exergía y emisiones exergéticas al ambiente durante la fase de funcionamiento de cada equipo, buscando un gran resultado de ahorro a nivel económico traducido en competitividad para el producto, de alto consumo a nivel local, regional y nacional.

Siendo ésta, una de las empresas Industriales más antiguas de Cartagena en el Sector de Alimentos que se encuentra enmarcada en las operaciones unitarias de manejo de sólidos, se hace necesario conocer el compromiso de una política ambiental, a partir del uso racional y eficiente de la energía (URE).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL:**

- Diseñar una estrategia de Uso Racional y Eficiente de Energía a partir de la realización de un Análisis Exergético y Exergoeconómico en una de las plantas de la empresa Rafael del Castillo y Cía. S.A. Molino Tres Castillos.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Describir una metodología detallada para el desarrollo del análisis exergético y exergoeconómico del proceso termodinámico llevado a cabo en la planta a tratar.
- Realizar el análisis exergético en cada uno de los equipos de la planta de producción escogida.
- Identificar y cuantificar los equipos en los cuales estén sucediendo considerables pérdidas de exergía.
- Proponer recomendaciones que permitan un mejor uso de la energía de modo que el proceso de producción de la planta sea más eficiente y económico.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 PRINCIPIOS BÁSICOS TERMODINÁMICOS EN EL ANÁLISIS DE SISTEMAS

El análisis termodinámico nos permite determinar las características termodinámicas de un sistema bajo estudio, donde un sistema es la región o conjunto de materia en el espacio que es seleccionada para su análisis.

El análisis termodinámico de sistemas, utiliza los principios de conservación de masa y de la energía, para cuantificar la interacción del sistema con su entorno, consigo mismo o con otro sistema, cuando se analizan procesos industriales compuestos por un número específico de equipos interconectados entre sí. En términos generales, el análisis termodinámico permite cuantificar las transferencias de energía, a través de interacciones de calor y trabajo, así como las transferencias de masa cruzando sus fronteras, cuando el sistema se encuentra en un estado específico para su análisis (Gordillo, 2005).

El análisis aplicado a un sistema abierto, también denominado volumen de control, desde el punto de vista termodinámico, establece las siguientes formulaciones para los principios de conservación de masa y energía, respectivamente:

$$\sum_{in} \dot{m}_i - \sum_{out} \dot{m}_e = \frac{dm_{vc}}{dt} \quad (4.1)$$

$$\dot{Q} - \dot{W}_{net} + \sum_{in} \dot{m}_i \left( h + \frac{\dot{v}^2}{2} + gz \right)_i - \sum_{out} \dot{m}_e \left( h + \frac{\dot{v}^2}{2} + gz \right)_e = \frac{dE_{vc}}{dt} \quad (4.2)$$

Por otro lado, la propiedad de la entropía, está relacionada a la segunda ley de la termodinámica. La entropía puede ser una cantidad positiva, negativa o cero. La limitación de positividad está relacionada a la generación de entropía, esta definición es utilizada

cuando se analizan procesos irreversibles. Solo la energía y la masa están sujetas a balance, la entropía no está sujeta a balance y su representación matemática toma la siguiente forma:

$$\dot{S}_{gen} = \frac{dS_{vc}}{dt} - \sum_j \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \sum_e \dot{m}_e s_e - \sum_i \dot{m}_i s_i \geq 0 \quad (4.3)$$

Considerando un sistema abierto operando bajo condición de estado estacionario implica que las propiedades del sistema como densidad, energía específica y entropía específica no cambian con el tiempo. Sin embargo, tales propiedades pueden variar espacialmente de un punto a otro dentro del volumen de control. En consecuencia, si el sistema opera de esta forma, los términos de la forma  $d/dt = 0$ , en las ecuaciones 4.1 a 4.3 desaparecen y, toman la forma siguiente:

$$\sum_{in} \dot{m}_i = \sum_{out} \dot{m}_e \quad (4.4)$$

$$\dot{Q} - \dot{W}_{net} = \sum_{out} \dot{m}_e \left( h + \frac{\dot{v}^2}{2} + gz \right)_e - \sum_{in} \dot{m}_i \left( h + \frac{\dot{v}^2}{2} + gz \right)_i \quad (4.5)$$

$$\dot{S}_{gen} = \sum_e \dot{m}_e s_e - \sum_i \dot{m}_i s_i - \sum_j \frac{\dot{Q}_j}{T_j} \geq 0 \quad (4.6)$$

Las ecuaciones 4.4 y 4.5 constituyen las ecuaciones de conservación y son la herramienta principal para analizar sistemas abiertos, que son los sistemas que caracterizan a un gran número de procesos industriales.

**4.1.1 Primera Ley de la Termodinámica:** En Termodinámica, trabajo se refiere a una transferencia de energía. Se considera que un sistema hace trabajo sobre otro cuando el

único efecto de la acción pudiera ser el levantamiento o el descenso de una pesa. El trabajo no es una propiedad del sistema, es un modo de transferencia de energía y su valor numérico depende de los detalles del proceso. Un proceso durante el cual las interacciones entre los sistemas son nada más de trabajo se dice que es un proceso adiabático.

La *Primera Ley de la Termodinámica*, es una generalización de observaciones experimentales y expresa lo siguiente: el valor del trabajo neto realizado por o sobre un sistema cerrado durante un proceso adiabático el cual lleva al sistema a un estado inicial a otro final depende sólo de los estados inicial y final del sistema, y es independiente del tipo de trabajo, de los detalles del proceso y de la naturaleza del sistema.

Se deduce entonces, que existe una propiedad tal que el cambio en su valor viene dado por el trabajo neto realizado durante un proceso adiabático que ocurre entre dos estados determinados. A dicha propiedad se le conoce como *energía interna*.

Cuando un sistema cerrado interactúa con sus alrededores de un modo que no se considera una interacción de trabajo, se dice que el proceso es no-adiabático. Se sabe por experimentos que el trabajo realizado por o sobre un sistema entre un estado inicial y un estado final determinados durante un proceso adiabático es distinto del realizado entre los mismos estados inicial y final durante procesos no- adiabáticos. Sin embargo, el cambio en energía del sistema es el mismo debido a que los estados inicial y final son los mismos para ambos procesos.

Por lo tanto, dado que la energía es una propiedad que se conserva, para que el sistema experimente el mismo cambio en el valor de su energía tanto durante el proceso adiabático como durante el proceso no-adiabático, la transferencia de energía neta para ambos procesos debe ser la misma. Se desprende entonces otro modo de transferencia de energía además de trabajo. Con base experimental, se sabe que esta forma de transferencia de energía ocurre debido a una diferencia de temperatura entre el sistema y sus alrededores y ocurre siempre en la dirección de mayor a menor temperatura. A esta forma de



transferencia de energía se le conoce como transferencia de energía por *calor*. El valor de la transferencia de energía por calor depende de los detalles del proceso y no solamente de los estados inicial y final. Por lo tanto, se concluye que el calor, igual que el trabajo, no es una propiedad y su diferencial es inexacta.

El cambio en la energía interna del sistema ocurre entonces debido tanto a la transferencia de energía por trabajo como la transferencia de energía por calor. La transferencia neta de energía es igual al cambio en la energía del sistema. A este resultado se le conoce como *balance de energía* y se expresa del siguiente modo:

$$(U_2 - U_1) + (EK_2 - EK_1) + (EP_2 - EP_1) = Q - W \quad (4.7)$$

**4.1.2 Segunda Ley de la Termodinámica:** En todo proceso se conserva la energía. Sin embargo, no todo proceso durante el cual se conserva la energía puede ocurrir. En sistemas aislados ocurren procesos espontáneos internos hasta que el sistema llega a una condición de equilibrio interno y externo. Este tipo de procesos ocurren siempre en una dirección y, aunque el sistema puede ser revertido a su estado inicial, esto nunca ocurre de forma espontánea.

Cuando dos sistemas se encuentran en diferentes estados, existe un potencial de generar trabajo al pasar estos de sus estados iniciales a un estado de equilibrio mutuo. La *Segunda Ley de Termodinámica* permite determinar el trabajo máximo que se obtiene de manera teórica en dicho proceso y evaluar los factores que reducen este valor.

Al igual que la Primera Ley, la Segunda Ley de la Termodinámica está basada en evidencia experimental. Existen varias formas de expresarla y todas son equivalentes. Dos formas especialmente útiles son el postulado de *Clausius* y el postulado de *Kelvin-Planck*. El primero, afirma que es imposible que un sistema opere de modo tal que el único resultado sea una transferencia de energía por calor de una fuente de temperatura determinada a otra

de temperatura mayor. El segundo, afirma que es imposible que un sistema aislado operando en ciclos, genere trabajo mientras está en contacto único con una fuente térmica.

4.1.3 **Procesos Irreversibles:** Las relaciones establecidas por la primera y segunda ley de la termodinámica, para el análisis un sistema en particular, han sido obtenidas en base a premisas en las cuales el sistema, para pasar desde un estado inicial a otro final, pasa por una serie de estados de equilibrio, los cuales son idealizaciones que facilitan describir en términos matemáticos los procesos reales, es decir los procesos irreversibles (Gordillo, 2005).

La irreversibilidad de un proceso es establecida a través de la segunda ley de la termodinámica, en consecuencia, un proceso irreversible se encuentra asociado a un incremento en la generación de entropía del sistema.

Algunas irreversibilidades típicas durante un proceso son las siguientes: transferencia de calor; expansión incontrolada de un gas; una reacción química espontánea; mezcla de materia de diferentes composiciones o a diferentes estados; fricción; flujo de corriente eléctrica a través de una resistencia; magnetización o polarización con histéresis; deformación inelástica. Resulta evidente que, los procesos reversibles son meramente hipotéticos; sin embargo, en muchos casos las irreversibilidades pueden minimizarse y el proceso irreversible aproximarse con cierta exactitud a éstos.

Cuando las irreversibilidades ocurren dentro del sistema se dice que son *irreversibilidades internas*; cuando ocurren en los alrededores, son *externas*. Todas las irreversibilidades pueden considerarse internas definiéndose la frontera de tal modo que incluya la parte de los alrededores donde ocurren. Si no ocurren irreversibilidades dentro del sistema se dice que éste es *internamente reversible*. Un proceso internamente reversible es un proceso cuasiestático durante el cual el sistema atraviesa una serie de estados de equilibrio.

El objetivo final en el análisis de un sistema utilizando los principios de la segunda ley de la termodinámica es ser capaz de reconocer las irreversibilidades, evaluar su influencia y, desarrollar los medios efectivos para reducirlas. La exergía es una propiedad termodinámica que está presente cuando se analizan procesos reales, es decir de procesos irreversibles.

**4.1.4 Producción de trabajo mecánico. Estado muerto:** Si tenemos un sistema termodinámico, que se encuentra en un estado termodinámico caracterizado por una temperatura  $T$  y una presión  $p$ , situado en un entorno con una temperatura  $T_0$  y una presión  $p_0$  que se consideran constantes a lo largo del tiempo, podemos asegurar que el sistema evolucionará de manera espontánea hacia un estado de equilibrio con el entorno, en el que su temperatura y presión serán  $T_0$  y  $p_0$  (equilibrio termodinámico). Si el sistema no interactúa con otro distinto al propio entorno, el trabajo en este proceso es el asociado únicamente a la variación de volumen bajo la presión exterior.

Este trabajo no es considerado útil, ya que no es realizado sobre un sistema distinto al medio ambiente; sin embargo la evolución del sistema hasta alcanzar el equilibrio termodinámico puede ocurrir mediante procesos en los que el sistema sí realice un trabajo sobre otro sistema, lo que sería un trabajo útil.

El *estado muerto* de un sistema de masa y composición constante, es aquel estado del sistema en el que su presión y temperatura coinciden con las del medio ambiente. Se denomina así, porque al no existir desequilibrio de temperatura o presión entre el sistema y el entorno, no hay capacidad de producir trabajo útil (Orellana, 2009).

**4.1.5 Volumen de Control:** Para el análisis de sistemas cuyas fronteras permiten el intercambio de materia con los alrededores resulta conveniente considerar al sistema como una región del espacio a través de la cual fluye materia. A esta región se le llama *volumen de control*.

El principio de la conservación de la masa para un volumen de control se expresa entonces de la siguiente manera: el ritmo de acumulación de materia dentro del volumen de control al tiempo  $t$  es igual a la diferencia entre los flujos másicos instantáneos que entran y salen del volumen de control al tiempo  $t$ .

$$\frac{dm_{cv}}{dt} = \sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_e \quad (4.8)$$

Para un volumen de control, el balance de energía establece que el ritmo de acumulación de energía en el volumen de control es igual a la diferencia en el ritmo de entrada de energía al volumen de control, menos el ritmo de salida de energía de éste. La energía se transfiere por calor, por trabajo o acompañado a la materia que entra o sale. Es conveniente separar el trabajo  $\dot{W}$  en dos componentes: uno está asociado a la presión del fluido cuando éste entra o sale del volumen de control; el otro incluye todos los demás efectos, como la turbina o desplazamiento de la frontera. El trabajo asociado a la presión del fluido en las entradas y salidas se denomina *trabajo de flujo* y está dado por  $\dot{m}pv$ , donde  $\dot{m}$  es el flujo de masa instantáneo,  $p$  la presión y  $v$  la velocidad del fluido a la entrada o salida. El balance de energía para un volumen de control viene dado por:

$$\frac{d(U + EK + EP)_{vc}}{dt} = \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \sum \dot{m}_i \left( h_i + \frac{1}{2} \dot{v}_i^2 + gz_i \right) - \sum \dot{m}_e \left( h_e + \frac{1}{2} \dot{v}_e^2 + gz_e \right) \quad (4.9)$$

Ésta establece que el ritmo de cambio de la energía dentro del volumen de control es igual a la diferencia entre los ritmos de entrada y salida de energía de éste. La transferencia de energía ocurre por trabajo, por calor, o junto con los flujos de materia.

Al igual que la energía, la entropía es una propiedad extensiva que puede ser transferida hacia o desde un volumen de control junto con los flujos de materia que entran o salen. Tomando en cuenta este modo de transferencia de entropía y siguiendo un razonamiento

similar al del desarrollo del balance de energía para volumen de control, el balance de entropía para un volumen de control resulta:

$$\frac{dS_{vc}}{dt} = \sum \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_e s_e + \dot{S}_{gen} \quad (4.10)$$

Donde  $dS_{vc}/dt$  representa el ritmo de cambio de entropía dentro del volumen de control,  $\dot{m}_e s_e$  y  $\dot{m}_i s_i$  los ritmos de transferencia de entropía asociados a los ritmos de flujo de materia que entran o salen respectivamente,  $\dot{Q}_j/T_j$  el ritmo de transferencia de entropía asociado al ritmo de transferencia de calor  $\dot{Q}_j$  a la temperatura  $T_j$  y  $\dot{S}_{gen}$  el ritmo de generación de entropía debido a las irreversibilidades dentro del volumen de control.

Se dice que un sistema está en *estado estacionario* cuando los valores de sus propiedades no cambian con el tiempo. En un volumen de control en estado estacionario entra y sale materia, pero la cantidad permanece constante. Por lo tanto, los balances de masa, de energía y de entropía para un volumen de control en estado estacionario se vuelven respectivamente:

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e \quad (4.11)$$

$$0 = \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \sum \dot{m}_i \left( h_i + \frac{1}{2} \dot{v}_i^2 + g z_i \right) - \sum \dot{m}_e \left( h_e + \frac{1}{2} \dot{v}_e^2 + g z_e \right) \quad (4.12)$$

$$0 = \sum \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_e s_e + \dot{S}_{gen} \quad (4.13)$$

El ritmo al que entra la materia a un volumen de control en estado estacionario es igual al ritmo en que sale. De igual modo, el ritmo al que entra energía a un volumen de control en estado estacionario es igual al ritmo en que sale. Sin embargo, el ritmo al que se transfiere

entropía a un volumen de control excede al ritmo en que se transfiere fuera de éste, siendo la diferencia la entropía generada debido a las irreversibilidades.

## 4.2 ANÁLISIS EXERGÉTICO

El Análisis Exergético es una técnica relativamente nueva basada en el concepto de exergía, definido en términos generales como el potencial de generar trabajo que poseen diferentes formas de energía en relación con un ambiente determinado. Con el método de análisis exergético es posible por un lado identificar las pérdidas termodinámicas internas en un sistema y por otro comparar entre distintas formas de energía.

Por otra parte, un análisis exergético proporciona una medida cuantitativa de la calidad de las diferentes formas de energía. Por ejemplo, el concepto de calidad de la energía térmica se basa en la temperatura a la cual ésta se encuentra disponible, entre mayor sea esta temperatura, mayor es la eficiencia para convertir la energía térmica a trabajo. De este modo, el análisis exergético permite evaluar un proceso de varios niveles de temperatura.

**4.2.1 Concepto de Exergía:** Cuando dos sistemas en diferentes estados entran en contacto, existe una oportunidad de generar trabajo al pasar ambos de sus respectivos estados iniciales a un estado de equilibrio mutuo. Si el proceso ocurre de manera reversible, entonces el trabajo generado tiene el valor máximo. Cuando hay irreversibilidades presentes durante el proceso, entonces parte del potencial de generar trabajo que existía desde el origen es disipado. En el caso de una reacción incontrolada, en que los sistemas lleguen a un estado de equilibrio sin que se aproveche el proceso para generar trabajo, este potencial sería perdido en su totalidad.

Los alrededores de un sistema se refieren a todo lo no incluido en el sistema. Se define el *ambiente*, como la parte idealizada de los alrededores en la cual las propiedades intensivas

no cambian durante un proceso que involucre al sistema de interés y sus alrededores inmediatos. Así mismo, el ambiente se considera libre de irreversibilidades: todas las irreversibilidades ocurren dentro del sistema o en sus alrededores inmediatos.

Por otro lado, los conceptos de entropía, energía libre (energía libre de Helmholtz) y entalpía libre (energía de Gibbs), son funciones termodinámicas que nos indican la posibilidad y capacidad de avanzar en procesos irreversibles, éstas surgieron a partir de la segunda ley de la termodinámica, la cual sostiene que la energía calórica no puede ser aprovechada por completo mientras interactúe el ambiente que la rodea.

Cuando uno de los sistemas es el ambiente y el otro es el sistema de interés, entonces se conoce como *exergía* al trabajo máximo que en teoría pudiera obtenerse al pasar el sistema de su estado inicial al estado de equilibrio con el ambiente al entrar ambos en contacto.

El concepto de exergía se adoptó como una magnitud energética para cuantificar cuánto trabajo se puede aprovechar de una determinada sustancia o flujo de energía con respecto al ambiente natural. El valor numérico de la exergía depende del estado del sistema y del estado del ambiente. Sin embargo, una vez especificado el estado ambiental, la exergía puede considerarse una propiedad del sistema de interés. (Gordillo, 2005)

En ausencia de efectos nucleares, magnéticos, eléctricos y de tensión superficial, la exergía total de un sistema puede dividirse en cuatro componentes: exergía física, cinética, potencial y química, es decir:

$$\dot{E} = \dot{E}^{PH} + \dot{E}^K + \dot{E}^P + \dot{E}^{CH} \quad (4.14)$$

Cuando son evaluadas respecto al ambiente, las energías: cinética y potencial son en principio totalmente convertibles a trabajo cuando el sistema pasa del estado inicial al

estado ambiental, por lo tanto sus valores corresponden a las exergías cinética y potencial respectivamente.

A su vez, cuando un sistema se encuentra en equilibrio térmico y mecánico con el ambiente, y por lo tanto, se encuentra en el estado ambiental, el valor de su exergía física es nulo. La *exergía química* del sistema es el potencial de generar trabajo que posee el sistema respecto al ambiente al pasar del estado ambiental a un estado no sólo de equilibrio termomecánico sino también químico.

La *exergía física* de un sistema cerrado viene dada por:

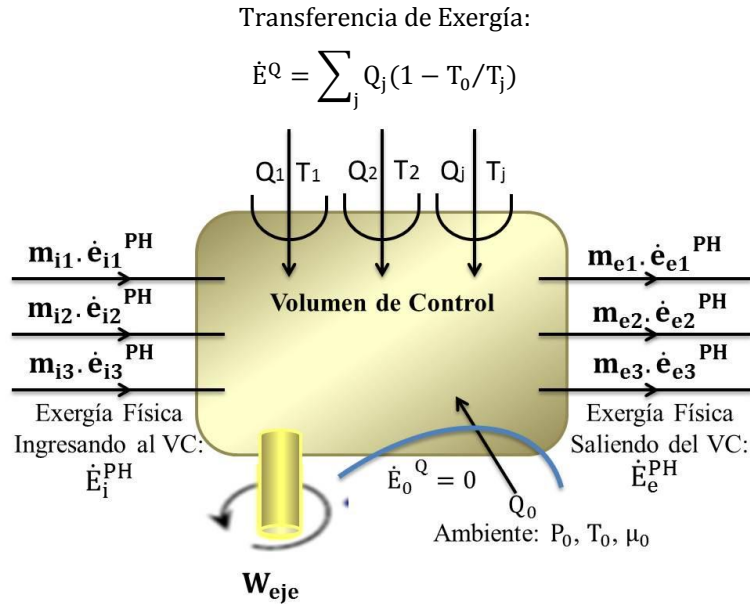
$$E^{PH} = (U - U_o) + p_o(v - v_o) - T_o(S - S_o) \quad (4.15)$$

Donde U, v y S son los valores de la energía interna, volumen y entropía respectivamente del sistema en determinado estado;  $U_o$ ,  $v_o$  y  $S_o$  son los valores de la energía interna, del volumen y de la entropía, que el sistema tomaría si estuviera en el estado ambiental.

**4.2.2 Ecuación del Balance Exergético:** Así como la masa, energía y entropía, la exergía también es una propiedad, entonces ésta puede ser transferida hacia dentro o hacia afuera del volumen de control cuando las corrientes de materia ingresan y salen de él, dicho de otra manera la exergía es una función de estado, por lo que la variación de ésta sólo depende del estado inicial y final del sistema en el proceso, siempre y cuando esté fijado como constante el estado muerto tal como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (Gordillo, 2005).



**Figura 1.** Flujos de Exergía asociados a un volumen de control.



Si identificamos con los subíndices 1 y 2 al estado inicial y final del sistema se tiene la siguiente expresión para el cambio de exergía:

$$E_2 - E_1 = (U_2 - U_1) + p_o(v_2 - v_1) - T_o(S_2 - S_1) \quad (4.16)$$

Las transferencias de exergía a través de la frontera del sistema acompañan a transferencias de trabajo y calor. El cambio de exergía de un sistema no significa que es igual a la transferencia de exergía, ya que, de haber irreversibilidades presentes, parte de la exergía se destruye. Estos conceptos están relacionados por el balance de exergía, el cual es una expresión de la Segunda Ley de la Termodinámica y es la base del análisis exergético. Se deriva de los balances de energía y de entropía y de la definición del cambio de exergía. Combinando los balances de energía y entropía (ec. 4.5 y ec. 4.6) se obtiene el balance de exergía para sistemas cerrados:

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \sum_j \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q}_j - \left(\dot{W}_{vc} - p_o \frac{dv_{vc}}{dt}\right) + \sum_i \dot{m}_i e_i - \sum_e \dot{m}_e e_e - E_D \quad (4.17)$$

Razón de exergía	Razón de transferencia de exergía	Razón de cambio de de exergía	Destrucción de exergía
---------------------	--------------------------------------	----------------------------------	---------------------------

Escrita de otra manera:

$$\dot{E}_2 - \dot{E}_1 = \{-\dot{W} + p_o(v_2 - v_1)\} + \left\{\dot{Q} - T_o \int_1^2 \frac{dQ}{T}\right\} - T_o \dot{S}_{gen} \quad (4.18)$$

Donde el primer miembro de la ecuación 4.19  $-\dot{W} + P_o \Delta V$  coincide en módulo con el trabajo total realizado por el sistema en el proceso menos el trabajo realizado contra el ambiente, es decir, es el trabajo realizado sobre cuerpos ajenos al medio y al propio sistema, en otras palabras representa la transferencia de exergía asociada a la transferencia de energía por trabajo. A este miembro se le da el nombre de *contenido exergético del trabajo mecánico*,  $E_w$ , su valor coincide con el del trabajo útil, pero cambiado de signo.

Observando ahora el segundo término de la ecuación 4.18

$$\dot{Q} - T_o \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad (4.19)$$

Coincide con el máximo trabajo que puede obtenerse del calor Q transmitido a las mismas temperaturas a las que se encuentra el sistema durante el proceso, por lo que se le da el nombre de *contenido exergético del calor*,  $\dot{E}_Q$ , es decir es la transferencia de exergía asociada a la transferencia de energía por calor. El contenido exergético del calor tiene el mismo signo que el calor siempre que la temperatura a la que se transmita sea superior a la del estado muerto. Si se transmite calor a una temperatura inferior a la del estado muerto los signos del calor y de su contenido exergético son opuestos.

Por último, el término  $T_o\dot{S}_{gen}$  siempre positivo, representa la exergía destruida por la producción de un proceso irreversible en el sistema. En un proceso reversible  $\dot{E}_D = 0$ , mientras que en un proceso irreversible éste término representa una cierta cantidad de exergía que se ha destruido en el proceso (Orellana, 2009).

La expresión  $\dot{E}_D = T_o\dot{S}_{gen}$  es conocida como el teorema de *Gouy –Stodola*. Este teorema establece que la razón de destrucción de irreversibilidades de un proceso es proporcional al producto de la razón de la producción de entropía de todo el sistema por la temperatura ambiente.

La Ecuación 4.18, que queda rescrita como:

$$\Delta E = \dot{E}_w + \dot{E}_Q - \dot{E}_D \quad (4.20)$$

Será denominada como la *ecuación del balance exergético*, y, frente a la ecuación del balance de la energía, presenta la diferencia fundamental de que la exergía no se conserva en procesos irreversibles.

La Ecuación 4.11 puede ser interpretada como que la exergía del sistema al final del proceso es igual a la que poseía en el estado inicial, aumentado por el valor de los *flujos exergéticos*  $\dot{E}_w$  y  $\dot{E}_Q$ , y disminuida por el valor del flujo de la exergía destruida,  $\dot{E}_D$ .

**4.2.3 Diagramas de Flujo Exergético:** Para facilitar su interpretación, el balance de exergía tiene varios tipos de interpretaciones gráficas. Los llamados *diagramas de flujo exergético*, o también llamados *diagramas de Sankey* son los más conocidos. En ellos, cada proceso sufrido por el sistema se interpreta por una línea horizontal, marcando mediante *líneas de flujo* los flujos de exergía entrantes o salientes del sistema.

Sólo con observar el *Diagrama de Sankey* de cualquier sistema se puede conocer:

- Las eficiencias exergéticas de varios procesos de un sistema
- Las entradas y salidas de exergía
- De donde provienen y donde terminan los distintos flujos exergéticos
- Las corrientes en las que existe flujo de exergía
- La cantidad de exergía destruida en cada proceso del sistema

Además, los diagramas de flujo exergético son una muy buena herramienta para evaluar procesos de carácter industrial que se quieren optimizar, ya que permiten tener una visión global del proceso (Orellana, 2009).

**4.2.4 Criterios de eficiencia utilizados en el Análisis de Exergía:** Desde el punto de vista del análisis de exergía, todo sistema abierto interacciona con su entorno a través de flujos de exergía, los cuales se encuentran asociados de manera directa o indirecta a combustibles fósiles o a alguna otra forma de recursos energéticos. De modo que, su uso genera destrucción y pérdida de su exergía durante la operación del sistema, que no es sino la destrucción y pérdida del recurso energético (Gordillo, 2005).

Establece que el análisis de exergía involucra el cálculo de medidas de rendimiento en un sistema termodinámico, a través de los siguientes parámetros:

- i. Eficiencia exergética.
- ii. Razón de destrucción de exergía.
- iii. Razón de pérdida de exergía.

**4.2.4.1 Eficiencia exergética:** La eficiencia exergética es una medida importante usada en el análisis de exergía, para su utilización es necesario identificar los flujos de materia que interactúan con el sistema, una es el denominado “*producto*” y la otra el “*fuel*”. El criterio “*producto*” debe ser consistente con la función para la cual ha sido construido el sistema. Mientras el criterio “*fuel*” debe representar los recursos energéticos utilizados para generar el producto en el sistema y, no es necesario que sea un combustible real (gas, petróleo o carbón); tanto el “*producto*” como el “*fuel*” están expresados en términos de exergía (Gordillo, 2005).

Si tenemos, en forma general, a un sistema operando en estado estable y, es analizado en base exergética, la razón a la cual el “*fuel*”,  $\dot{E}_F$ , es suministrado y el “*producto*”,  $\dot{E}_P$ , es generado, este sistema es definido a través del análisis de exergía como:

$$\dot{E}_F = \dot{E}_P + \dot{E}_D + \dot{E}_L \quad (4.21)$$

Bajo estas definiciones, la eficiencia exergética,  $\varepsilon_{ex}$ , esta determinada según la segunda ley de la termodinámica:

$$\varepsilon_{ex} = 1 - \frac{\dot{E}_D}{\dot{E}_F} \quad (4.22)$$

La eficiencia exergética es un parámetro útil para medir las mejoras introducidas en una instalación tanto en cuanto a la disminución de la exergía pérdida como en cuanto al aprovechamiento de flujos de exergía recuperable dentro de la propia instalación.

**4.2.4.2 Razones de destrucción y pérdida de exergía:** Los valores de la razón de destrucción de exergía  $E_D$ , y de pérdida de exergía  $E_L$  proporcionan la medida termodinámica de las ineficiencias del sistema. A partir de este tipo de mediciones se

generan las denominadas razones de destrucción de exergía  $y_D, y_D^*$  y la razón de pérdida de exergía  $y_L$

$$y_D = \frac{\dot{E}_D}{\dot{E}_{F,tot}} \quad (4.23)$$

$$y_D^* = \frac{\dot{E}_D}{\dot{E}_{D,tot}} \quad (4.24)$$

$$y_L = \frac{\dot{E}_L}{\dot{E}_{F,tot}} \quad (4.25)$$

$$y_L^* = \frac{\dot{E}_L}{\dot{E}_{L,tot}} \quad (4.26)$$

En contraste, el proceso o sistema a ser analizado puede ser sub-dividido en sub-sistemas, con el objeto de facilitar el análisis, entonces con la ecuación 4.23 se está realizando la comparación de la destrucción de la exergía de un componente del sistema contra la razón de exergía del combustible o recurso energético suministrado al sistema total. En la ecuación 4.24 se realiza la comparación de la destrucción de la exergía de un componente del sistema contra la destrucción total de exergía dentro del sistema, el mismo criterio aplicado para la Ecuación 4.25 y 4.26. (Gordillo, 2005).

Desde el punto de vista de razones de exergía, la reducción en la eficiencia total de sistema, causada por la destrucción y pérdida de exergía es:

$$\varepsilon_{ex} = 1 - \sum y_D - \sum y_L \quad (4.27)$$

La ecuación (4.28) es utilizada para determinar la eficiencia total de un sistema que está formado por un número grande de equipos, de los cuales se pueden determinar sus respectivas razones de destrucción y pérdidas de exergía.

### **4.3 CONCEPTO DE TERMOCONOMÍA**

La Termoeconomía como ciencia implica la combinación de los conceptos de la termodinámica y economía, los cuales nos ayudan en la comparación de alternativas de diseño, no sólo se lleva a cabo desde el punto de vista energético, sino también, conduce en ocasiones a seleccionar la mejor alternativa en términos económicos. Por ello, en todo proceso se requiere un balance entre la eficiencia energética y el costo económico (Bosch, 2007).

Según, Torres (1991), “El objeto de la termoeconomía es sentar las bases teóricas para una ciencia del ahorro de energía, buscando criterios generales que permitan evaluar la eficiencia de sus procesos y el coste de sus productos, en sistemas con un consumo intensivo de energía”.

Según Valero (1986), el concepto de exergía se usa como base para calcular el costo, debido a que este concepto tiene en cuenta tanto la cantidad de energía disponible como su calidad; características no presentes en las mediciones de eficiencia e irreversibilidad. La variable más relevante, desde el punto de vista de formación del costo, es el costo exergético, que informa sobre la cantidad de exergía necesaria para producir un flujo.

La termoeconomía se puede utilizar como una herramienta para el diseño y optimización de sistemas y para el análisis y diagnóstico de sistemas existentes, ya que permite determinar la presencia de anomalías, su ubicación y posibles causas.

Una anomalía constituye un cambio o una irregularidad en el comportamiento de un componente que causa variaciones locales y globales en el desempeño del sistema. La disminución de la eficiencia implica un mayor consumo de recursos y aumento del costo. Aunque el aumento de la eficiencia, si bien se considera positivo, debe tomarse con cautela puesto que puede deberse a condiciones de mayor esfuerzo del sistema; lo que en última instancia puede conducir a fallas del sistema, suspensión de la operación y acortamiento de su vida útil.

Observar un cambio en las condiciones de operación de un elemento no significa que esta sea la fuente del cambio o causa primaria. Para identificar la causa primaria o conjunto de causas se requiere un entendimiento basado en el conocimiento y la experiencia. El conocimiento se obtiene de la comprensión de los componentes, relaciones y principios del sistema organizados en un modelo matemático que permite la representación y simulación de la operación del sistema para unas condiciones dadas. La experiencia se traduce como un conocimiento experto, derivado de la observación y vivencia del día a día y que es susceptible de formalizarse en una serie de reglas prácticas pero sin una formulación matemática rigurosa.

La Termoeconomía, también es utilizada como herramienta para la evaluación costo beneficio de acciones de mantenimiento o mejoramiento, como herramienta para el cálculo y asignación de costos en sistemas energéticos complejos.

En esencia, la teoría del costo termoeconómico permite asignarle un valor monetario a cada uno de los flujos que circulan por un sistema térmico incluyendo sus productos finales. Para expresarlo en términos simples, el costo termoeconómico de un flujo es su valor monetario por unidad de tiempo. Este valor se obtiene teniendo en cuenta el valor de los insumos utilizados, el costo de operación, administración, mantenimiento y la recuperación de la inversión.

En un sistema energético dado, cuando se conocen los costos económicos de cada uno de sus flujos se pueden tomar decisiones con respecto al diseño, al mantenimiento y a la



operación del sistema con una racionalidad económica que permita maximizar el beneficio.

#### **4.4 ANÁLISIS EXERGOECONÓMICO**

El análisis exergoeconómico parte del supuesto de que se conoce la topología del sistema y los valores termodinámicos de las propiedades de todos los flujos. Es decir, se conoce la exergía de cada flujo, la cual es la energía utilizable en cada flujo. Los pasos para elaborar un estudio termoeconómico se puede plantear de esta manera:

1. Hallar los costos exergoeconómicos (CE) del sistema.
2. Establecer recomendaciones.

## **5. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE**

En el mundo actual, uno de los mecanismos de mayor impacto e importancia por su naturaleza, es la utilización de los recursos energéticos de forma más eficiente, éste permite asegurar el abastecimiento energético, la competitividad de la economía nacional, la protección del consumidor y la promoción de las fuentes energéticas no convencionales como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, de acuerdo con lo establecido en la ley.

Para esto es necesario saber que la entidad responsable de promover, organizar, asegurar el desarrollo y el seguimiento de los programas de Uso Racional y Eficiente de la Energía es el Ministerio de Minas y Energía definido en el artículo 4 de La ley 697 de 2001. Su importancia se origina en la vinculación con la competitividad industrial y comercial, el costo de vida de la población, los beneficios derivados de la seguridad de abastecimiento energético y con el objetivo de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

En efecto, hacer un uso excelente de los recursos energéticos representa un menor costo de la energía como factor productivo, y en consecuencia un aumento en la competitividad de las empresas. Así mismo ahorrar y mejorar el uso de energía desde el punto de vista ambiental, implica una disminución del impacto sobre el ambiente local y global y una menor presión sobre los recursos energéticos no renovables.

Al pasar de los años el concepto del URE (Uso Racional y Eficiente de la Energía) ha ido evolucionando, tomando cada día un mejor enfoque, quedando con la visión de utilizar tecnologías y/o prácticas más eficientes en el uso de la energía, que se traduzcan en un menor consumo energético. De igual manera, convertirse en una fuente menos costosa en términos económicos, sociales y ambientales.

Para alcanzar el Uso Racional y Eficiente de la Energía existen algunas dificultades, como son el potencial teórico, tecnológico, económico y de mercado. A partir de allí se desprenden las posibilidades de ahorro en última instancia, limitadas por el avance tecnológico.

La “frontera tecnológica” describe el ahorro potencial máximo con la tecnología disponible, se alcanza cuando se eliminan las fallas de mercado impidiendo al usuario realizar inversiones en eficiencia energética, que le serían convenientes si el mercado funcionara de acuerdo a los modelos teóricos.

Aún en el caso de eliminarse las fallas de mercado, el potencial tecnológico puede no ser alcanzado por razones de tipo socioeconómico. Los usuarios pueden no invertir en tecnologías más eficientes por razones culturales o de gustos, o porque son demasiado pobres para hacerlo. Asumiendo que todas las barreras económicas, institucionales y sociales fueran eliminadas, quedarían tecnologías eficientes sin usar porque el costo es demasiado elevado. Por consiguiente, se hace necesario usar instrumentos de política que permitan eliminar o compensar dichas barreras. La “DNETN (Dirección nacional de energía y tecnología nuclear)” y la “MIEM (Ministerio de industria energía y minería)”, explican como en América latina son pocos los países que han llevado adelante programas exitosos relacionados con el uso eficiente de la energía. Esto se debe en parte a la falta de concientización entorno a la importancia del tema, la menor intervención del Estado en la economía y en el sector energético.

No obstante, en los últimos años, a nivel mundial se ha indagado en alternativas que conlleven a un mayor aprovechamiento de la energía, por ello, en diferentes ámbitos se han realizado modelos de termodinámica desarrollados sobre el fundamento de la primera ley y segunda ley de la termodinámica. Estos modelos se han realizado con el propósito de diseñar sistemas más rentables y fiables.

Este diseño de rendimiento se basa en un Análisis Exergético apoyado en criterios de rendimiento energético y exergético, eficiencia térmica, pérdidas de exergía, eficiencia exergética, coeficiente de rendimiento exergético, entre otros conceptos, los cuales en conjunto nos permite hacer una evaluación integral que nos ayude a identificar las ineficiencias e irreversibilidades del equipo, sistema o proceso a tratar, y luego aplicar acciones correctivas con el fin de aprovechar al máximo la energía empleada (Huseyin, *et al.*, 2009).

Esta herramienta ha sido usada en diferentes sistemas y equipos, tanto de la ingeniería como en otros campos, por ejemplo tenemos el caso de la aplicación del análisis exergético en un esterilizador quirúrgico ensamblado en Cataluña, España. La decisión de implementarlo en este equipo fue reafirmada con el objetivo de llevar a cabo un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para minimizar la pérdida de reservorios de exergía y de emisiones exergéticas al ambiente durante la fase de utilización del mismo.

En los resultados obtenidos para el análisis exergético del esterilizador quirúrgico se observó que las mayores pérdidas de exergía fueron las asociadas a las irreversibilidades del proceso alcanzando alrededor de un 74% del gasto exergético total del sistema. El 26% restante se divide entre la exergía perdida por disipación de calor al entorno, la pérdida por el flujo de las corrientes residuales y por último la exergía del proceso de esterilización, es decir, el porcentaje de exergía aprovechado por el sistema (Orellana *et al.*, 2009).

Para corroborar el éxito de este tipo de proyectos, podemos mencionar el caso de una empresa del sector productivo de Colombia que tuvo como objetivo aplicar todo un ciclo de optimización de un sistema de generación de vapor, en el cual realizaron el análisis utilizando los datos diarios de producción de vapor total y de consumo de gas total diarios, durante un trimestre, entregados por la empresa. Se determinó la fiabilidad de la información, el análisis de la variación del consumo de gas con la producción de vapor. Luego de la determinación del potencial de ahorro en el área de calderas de la empresa, se procedió a realizar un diagnóstico energético.

A partir de los resultados obtenidos se realizaron modificaciones a las calderas permitiendo así ajustar, elevar y reducir todas las falencias encontradas, produciendo un ahorro considerable de gas por aumento de la eficiencia operacional del sistema de generación de vapor (Restrepo, 2005).

A su vez (Cornelissen, 2002), nos muestra cómo se analiza el valor de la evaluación del ciclo de vida exergético (ELCA). La IELA ha sido el marco de la evaluación del ciclo de vida (ACV) y puede ser visto como el Análisis exergético de un ciclo de vida completo. Discutieron el valor de la IELA y la LCA.

Se demostró que la IELA es el instrumento más adecuado para cuantificar el problema ambiental del agotamiento de los recursos naturales. Esto ha sido probado con un estudio de caso de las diferentes vías de tratamiento de residuos de madera.

En el modelo de residuos de madera de primera es co-combustión en una central eléctrica de carbón, en cambio, en el modelo de residuos de madera de segunda se ha utilizado para producir tableros de partículas.

La IELA muestra que la producción de tableros de partículas es menor en comparación al agotamiento de los recursos naturales, de igual forma, la sustitución del carbón por la madera verde da menos agotamiento, en contraste con la de los recursos naturales, en tanto los residuos de madera se utilizan para generar electricidad. Se puede concluir que la IELA se puede utilizar de dos maneras. En primer lugar, para determinar el consumo de los recursos naturales y en segundo lugar, para calcular el agotamiento de los mismos. En este último caso, se ha hecho distinción entre los recursos exergía renovables y no renovables.

Otro caso a mencionar es el análisis de optimización de la producción de energía eléctrica y calor para el proceso de fabricación de azúcar, a partir de la introducción del corfiring en una caldera de bagazo que funciona con vapor sobrecalentado.

Para evaluar de manera técnica y económica los impactos generados en este proceso se realizó un balance del esquema térmico de la planta de producción de azúcar en la situación

actual y con corfiring; y un análisis financiero del proyecto corfiring, dando como resultado un incremento de la eficiencia de la caldera, incremento de la eficiencia general de generación de vapor y de producción de energía eléctrica, disminución de los costos de mantenimiento de los filtros de gases de caldera y de la Turbobomba de agua de alimentar, entre otros resultados (Campos, 2008).

Por lo tanto, es resaltable saber que como medidas importantes para un buen uso racional y eficiente de la energía es preciso utilizar cogeneración de vapor-energía eléctrica, aprovechamiento de la purgas, mejoras en los equipos de combustión, sistemas de distribución de vapor, recuperación de condensado, mejoras en intercambiadores de calor, recuperación de gases de antorcha y de otros productos residuales, entre otras formas de reducir las pérdidas de energía.

Una de estas formas es el análisis exergético, basado en una metodología que permite analizar los mecanismos básicos de la eficiencia exergética de cualquier sistema, mediante la aplicación de las leyes de la termodinámica.

Con base en este análisis exergético, se desarrolla un método de evaluación termoeconómico. Una función de costo se define para todas las unidades, los subsistemas y el total de la planta, por lo que el flujo de costos en el sistema puede ser calculado.

Por otro lado, cabe resaltar la termoeconomía como ciencia de gran ayuda para el ahorro de energía, pues es utilizada como una herramienta para el diseño y optimización de sistemas, para el análisis y diagnóstico de sistemas existentes, con el fin de hacer una evaluación costo beneficio de acciones de mantenimiento o mejoramiento, por medio de cálculos y asignación de costos en sistemas energéticos complejos.

Una aplicación de la unión de estas dos ciencias, es el caso del “Estudio Termoeconómico de una Planta Simple de Cogeneración” (Guallaret *al.*, 2006), en dicho estudio se aplica un método para calcular los costes termoeconómicos y exergoeconómicos a una planta de

cogeneración en una planta azucarera. En este método se construye una matriz de costes como una unión de la estructura física y productiva del sistema.

Al finalizar el Estudio termoeconómico se dieron cuenta de las anomalías presentadas en el proceso, así como las pérdidas de energía, manifestadas en el aumento de los costes exergéticos de los diferentes equipos de la planta.

El cálculo de los costes exergéticos ha resultado ser un factor reincidente en diferentes situaciones, donde uno de sus objetivos es valorar la magnitud de las ineficiencias del proceso, como es el caso de una industria productora de azúcar de caña (Roque, 2001) en la cual decidieron tener en cuenta las variaciones relativas de la efectividad de la extracción y el consumo energético en la molienda, para proponer un procedimiento básico de optimización de esta parte del proceso.

Se realizó la optimización de la molienda en la planta azucarera tomando como función objetivo, minimizar el coste exergético unitario, para lo cual fue necesario obtener un modelo representativo de la dependencia entre el flujo de jugo, su contenido de sacarosa y la potencia gastada en la compresión, que depende en efecto de las condiciones de operación.

Por otra parte, la Termoeconomía se ha mostrado como una herramienta para cuantificar el impacto energético en los sistemas y evaluar el uso eficiente de la energía mediante un balance exergético, esto se puede verificar en la aplicación particular que se efectuó al sistema de bombeo del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (AMB), Colombia. (Carrillo, *et al.*, 2007). Aquí se desarrolló una auditoría exergética, donde se inspeccionaron los flujos de exergía involucrados en cada una de las partes del proceso, con el fin de conocer la forma de administración de la energía y su parte útil.

Al concluir este proceso de evaluación, pudieron determinar con el apoyo del análisis de costo exergético la existencia de la oportunidad de ahorro energético, viéndose reflejado en un porcentaje de ahorro en el costo exergético de operación.

El análisis de costos nos proporciona una gran ayuda desde el punto de vista de competitividad, puesto que nos permiten calcular un precio favorable para el producto. Ejemplo de esto sucedió en el análisis exergético y termoeconómico aplicado a un motor diesel de cogeneración (Abusoglu, *et al.*, 2009). También se le formuló un análisis de costos, resultando de gran importancia para obtener el precio de comercialización óptima de los productos de los sistemas térmicos a un máximo beneficio y/o un mínimo costo.

Por esta razón, podría decirse que la Termoeconomía se ha convertido en una gran ayuda para el diseño de los costos en plantas donde predomine la relación energía-eficacia, pues los resultados obtenidos proporcionan información con respecto al rendimiento de los costos exergéticos de cada uno de los componentes de la planta.

(Lombardi, 2009) evaluó el ciclo de vida del biodiesel del Aceite de Cocina Usado (UCO) implicando cuatro etapas: (recogida, pre-tratamiento, entrega, transesterificación de UCO). En general, la UCO se recoge de restaurantes, industrias de alimentos y centros de reciclaje por empresas autorizadas. Entonces, UCO es pre-tratada para eliminar las partículas sólidas y agua para aumentar su calidad. Después de eso, se carga en camiones cisterna y entregado a la planta de biodiesel para luego ser transesterificación con metanol de biodiesel.

La producción de una tonelada de biodiesel es valorado por una Evaluación del Ciclo de Vida (ACV) para determinar el impacto ambiental y por un análisis exergético del Ciclo de Vida (IELA) para dar cuenta de la entrada de exergía en el sistema. Una lista detallada de los insumos de materia y energía se realiza a partir de una base de datos de las empresas. Los resultados muestran que la etapa de transesterificación produce el 68% del impacto ambiental total. Las entradas de exergía importantes son el uranio y el gas natural.

(Bozkurt, 2010) evaluó el desempeño del proceso de cocción óhmico mediante la aplicación de un análisis de exergía. De forma cilíndrica se utilizaron como material de ensayo, muestras de carne molida cocinado con diferentes contenidos de grasa (2%, 9% y 15%). El proceso de cocción se realizó en tres diferentes gradientes de tensión. Los efectos



de gradiente de tensión aplicado y el contenido inicial de materia grasa de la muestra en la eficiencia energética, la eficiencia de exergía, la pérdida de exergía y potencial de mejora fueron investigados. Determinaron la posible mejora del sistema con energía, sobre todo para las muestras de alto contenido inicial de grasa cocinada en los gradientes de baja tensión, ya que los valores posibles de las mejoras previstas fueron más altas en esas condiciones.

Por último, podemos mencionar el caso de una industria de producción de harina de pescado (Gordillo, 2005) en la cual se aplicó el análisis de exergía a sus procesos de cocción y secado. Los resultados mostraron que los valores de entalpía y entropía para el pescado se incrementan cuando la temperatura en el pescado aumenta, lo mismo sucede cuando el contenido del agua en el pescado aumenta. También, se observaron incrementos en el contenido de agua, disminuyendo los valores de exergía específica en el pescado. El análisis de exergía reveló la alta irreversibilidad del proceso de cocción, al mismo tiempo las elevadas razones de pérdida y destrucción de exergía en el proceso de secado.

Los resultados obtenidos demostraron la ventaja del análisis de exergía como herramienta de diagnóstico, permitiendo determinar con detalle la degradación de la energía en procesos que sean térmicos completos.

Además, es necesario reconocer que se hubiera logrado una mejor idea del grado de irreversibilidad dentro del proceso de producción de harina de pescado, si el análisis de exergía se hubiese aplicado a la totalidad de los equipos involucrados en este proceso de fabricación, pues permitiría identificar qué equipo o proceso es el más irreversible y cómo afecta a la eficiencia del sistema en su totalidad.

Por otra parte, se destacó la combinación del análisis de exergía en el proceso de producción de harina de pescado, con los principios termo-económicos se convierten en una herramienta valiosa para optimizar este proceso productivo desde el punto de vista termodinámico y económico, una vez identificado el grado de irreversibilidad de los mismos.

## **6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN EN ESTUDIO**

El proceso de producción de RAFAEL DEL CASTILLO & CIA. S.A. está enmarcado en las operaciones unitarias de manejo de sólidos, como son: Almacenamiento, transporte en todas sus formas, reducción de tamaño, separación y clasificación por tamaños, mezclado y empacado.

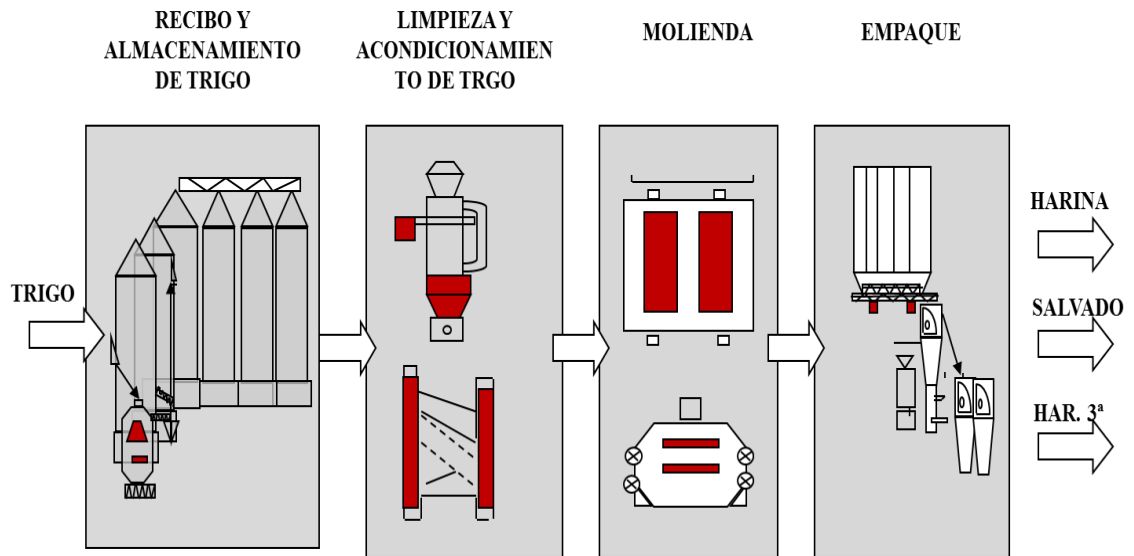
Es un proceso netamente físico que tiene por objeto la transformación del grano de trigo por medio de operaciones sucesivas de molienda y tamizado, con el fin de conseguir la más óptima separación entre la almendra harinosa y el pericarpio del grano, produciendo así harina para panificación y otros usos, y subproductos tales como salvado y harina de tercera.

En la actualidad la empresa está en capacidad de procesar en sus dos plantas, molinos N°1 y N°2, 7.500 toneladas de trigo mensuales, con una disposición de almacenamiento de 7.788 toneladas de materia prima, y 40.000 bultos de productos terminados en bodegas, de las diferentes calidades y presentaciones.

El proceso de producción se divide en cuatro importantes secciones:

- ◆ Recibo y Almacenamiento de Trigo.
- ◆ Limpieza y Acondicionamiento.
- ◆ Molienda.
- ◆ Empacado.

**Figura 2.** Descripción Esquemática del Proceso de Producción Harina de Trigo.



## 6.1 RECIBO Y ALMACENAMIENTO DE TRIGO

En esta sección el trigo es recibido y manejado al granel, a través de dos puntos de recepción con capacidad de 150 Ton/h; este trigo, que en un 97.5% es importado, se recibe por buques que son descargados en los diferentes muelles de la ciudad y luego transportado al molino en camiones de 10 a 20 toneladas de capacidad. (La empresa no posee muelle). El restante 2.5% es de origen nacional, y es asignado por Trigonal y despachado en tracto mulas desde las plantas de tratamiento de Idema en Tunja o Pasto.

Para la operación se cuenta con 7.788 toneladas de almacenamiento distribuidos así:

**Tabla 1.** Capacidad de Almacenamiento de Silos y Tolvas.

EQUIPO	CAPACIDAD (Ton.)	CANTIDAD	TOTAL (Ton.)
SILOS	550	2	1.100
SILOS	1.184	2	2.368
SILOS	2.000	2	4.000
TOLVAS DE REPOSO	15	8	120
TOLVAS DE REPOSO (PLANTA 1)	12,5	16	200
TOTAL			7.788

La operación se inicia con la práctica de análisis de laboratorio previo al almacenamiento, con el fin de clasificar los trigos por calidades en los diferentes silos. Una vez descargado en los puntos de recepción, el trigo es transportado por tornillos sinfín, transportadores de arrastre y elevadores de cangilones hacia los silos de almacenamiento.

## 6.2 LIMPIEZA Y ACONDICIONAMIENTO DEL TRIGO

Esta sección, que es operada y controlada por el supervisor y el operador de procesos, se puede dividir en tres áreas importantes:

- ◆ Limpieza
- ◆ Reciclaje de impurezas
- ◆ Reposo y Acondicionamiento

6.2.1 **Limpieza:** De acuerdo a las necesidades de limpieza de trigo, esta planta puede procesar hasta 220 Ton/día. El trigo extraído de los diferentes silos es transportado a esta sección por medio de bazucas, elevadores de cangilones y tornillos sinfín que lo llevan a un tanque regulador y de aquí a una báscula; luego pasa a la limpiadora con separador y canal

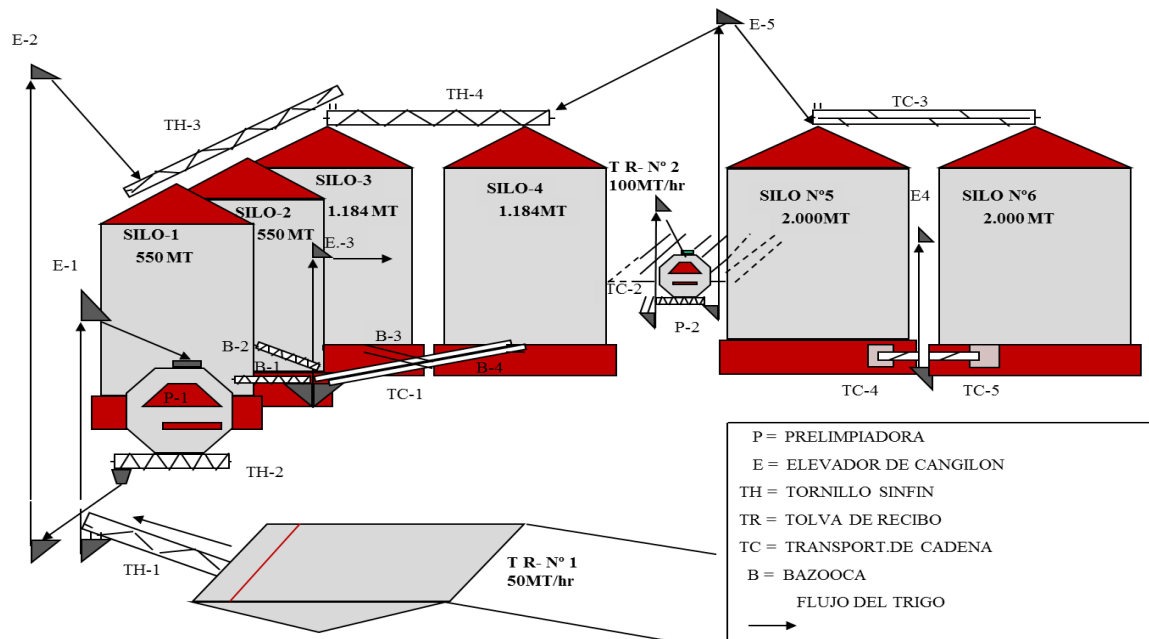
de aspiración (Tarara) en la cual se eliminan por densidad y tamaño: maíz, soya, cascarilla, polvo; la fracción pesada va al sistema de mojado automático BUHLER con controlador MYFC, regulador de caudal MOZF -1000 y el determinador de humedad MYFC, donde se equilibra la humedad del grano en un valor calculado y se homogeneiza en un humectador o remojador intensivo.

**6.2.2 Reciclaje de impurezas:** La fracción liviana que sale de la limpiadora, compuesta por las impurezas del trigo como granos de maíz, soya y cascarilla, es transportada por un tornillo sinfín que luego pasa por un imán, y es enviada a un tanque de restos o reciclaje, desde donde se dosifica hacia un molino de martillos que las reduce de tamaño y las alimenta a la línea de subproductos, incrementando así su nivel de fibras y proteínas.

**6.2.3 Reposo y acondicionamiento:** Del humectador o remojador intensivo, el trigo es enviado por un sinfín a las tolvas de reposo, donde es hidratado de acuerdo a su calidad, entre 12 y 24 horas, absorbiendo hasta el 70% del agua adicionada.

Esta sección dispone de 8 tolvas de acondicionamiento con capacidad de 15 ton cada una, 4 con 10 Ton. cada uno y 2 con 12.5 Ton. cada una, provistas de dosificadores volumétricos que permiten una alimentación porcentual en la molienda de mezclas de trigos de diferentes calidades.

**Figura 3.** Reposo y Acondicionamiento del Trigo Planta 2



### 6.3 MOLIENDA

Conseguido el suficiente acondicionamiento del trigo; se inician operaciones sucesivas y en forma continua de molienda y cernido del grano de trigo, que en condiciones óptimas de dureza, humedad y peso específico, permite procesar 220ton/día.

El proceso comienza con la pesada del trigo limpio que se alimenta a una primera fase de trituración, donde el grano es abierto mediante bancos de rodillos de grandes estrías, produciendo de inmediato algo de harina, sémolas blancas, sémolas vestidas con salvado y fracciones de salvado con sémolas y harina adherida; luego pasan estas fracciones por medio de transporte neumático al cernedor correspondiente, donde son clasificadas por tamaño, y enviadas a la siguiente fase, que puede ser: trituración, reducción de sémolas o compresión, cepillado o al transportador colector de harinas .

Las fracciones de salvado con sémola y harina adherida pasan a la siguiente fase de trituración, donde cilindros con estrías medianas continúan con la separación de las partes

presentes como en la primera fase, luego se transporta al cernedor donde se repite la operación de clasificación.

Las fracciones de salvado que en los pasos finales de trituración quedan con algo de harina adherida, son pasadas a las cepilladoras de salvado que extraen algo más de harina, la cual es purificada en los filtros y Turbocernedores y luego recogida por el transportador colector de harina de primera.

Dependiendo del tamaño de cada fracción de partícula la operación se repetirá en forma continua y equilibrada, hasta alcanzar en cada pasaje la máxima cantidad de harina libre de subproductos, y subproductos libre de harina.

Las harinas de todos los pasajes de cernido se recogen en los transportadores colectores, de aquí pasa al cernedor de control y posteriormente al mezclador homogeneizador, en este punto se adicionan fortificantes y mejoradores como vitaminas B1, B2, Ácido Fólico, Niacina, Hierro, Vitamina C, Alfa Amilasa, Azodicarbonamida y peróxido de benzoilo.

Luego pasa a la báscula de control de rendimiento, ésta es llevada por un tornillo sinfín a la esclusa que alimenta al transportador neumático positivo y por este a las tolvas de harina.

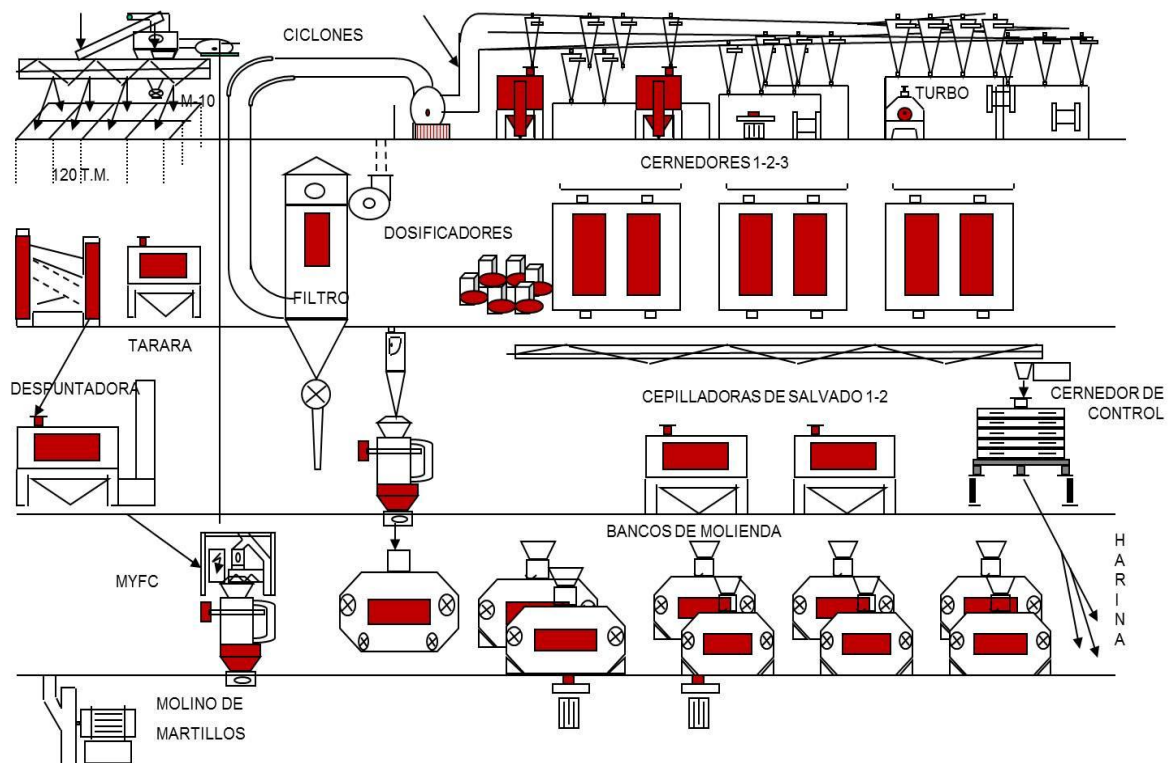
El salvado separado en la cepilladora y las impurezas recicladas entran al sistema de transporte neumático negativo y por este para ser llevadas a la tolva de salvado.

El balance de materia, se establece de acuerdo a la formulación de producción y a la calidad del trigo procesado; para una alimentación de trigo determinada, su caracterización es la siguiente:

**Tabla 2.** Balance de Materia General Empresa Harina 3 Castillos. <sup>1</sup>

ENTRADAS	%
Trigo alimentado	100
Agua de acondicionamiento	2 - 4,5
Impurezas recicladas	2 - 3
SALIDAS	%
Evaporación	1,5 - 2
Harina de primera	75 - 77
Salvado	21 - 24
Harina de tercera	4 - 6

**Figura 4.** Proceso de Limpieza y Molienda de la Harina de Trigo.



<sup>1</sup> Datos suministrados por la empresa RAFAEL DEL CASTILLO & CIA. S.A.

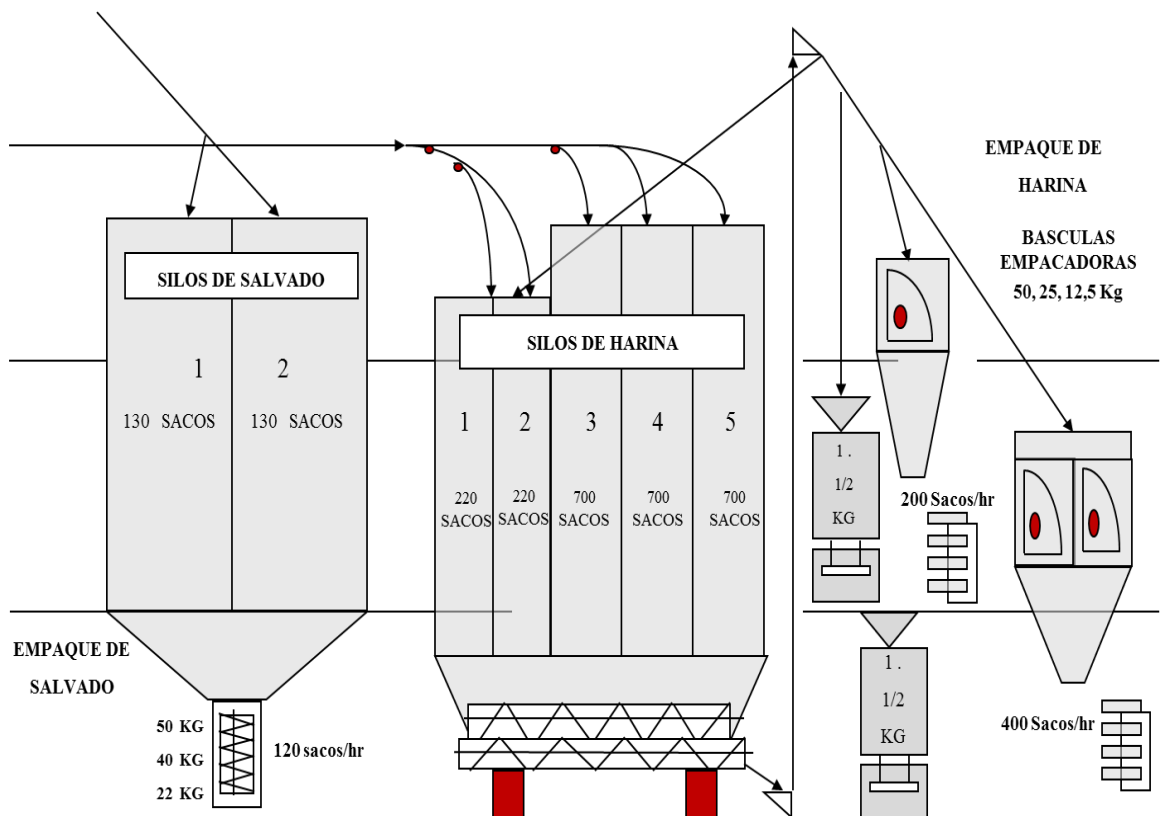


## 6.4 EMPACADO

En esta sección se dispone para empacar la harina de dos máquinas IMECO DE PESO NETO con capacidad de 400 y 200 sacos / hora respectivamente, y una máquina de tornillo para empacar el salvado.

Esta sección recoge todos los productos terminados, los cuales se depositan en tres tolvas de harina con capacidad de 2400 sacos de 50 kg., y una tolva de salvado con capacidad de 80 sacos de 50 kg.

**Figura 5.** Proceso de Empaque de la Harina de Trigo.



**Tabla 3.**Presentación Líneas de Producción.

CALIDAD	PRESENTACIÓN (KG.)
HARINA 3 CASTILLOS (PANIFICACIÓN)	50 - 25 - 12,5 - 10 - 1 - ½
HARINA ELITE	50 - 12,5
HARINA HEROICA	50
HARINA ULTRA	50
HARINA ULTRA PONQUE	50
HARINA ULTRA PIZZARINA	50 - 12,5
HARINA ULTRA BLANCANIEVE	50
HARINA INTEGRAL	50 - 25 - 12,5
HARINA DE TERCERA	50 - 40
SALVADO	50 - 40
SALVADO PANADERIA	22

Para el ensacado de harina de 50 kg., se utiliza empaque boca abierta en papel de tres capas y polipropileno de 72 gramos, luego un sinfín alimenta desde las tolvas a un elevador, nuevamente pasa por un cernedor de repaso y ésta se deposita en una báscula electrónica por la cantidad exacta a ensacar. Luego de su posterior pesada de control y cosida, se deposita en las bandas transportadoras y son llevadas hasta unas estibas de madera con capacidad de 40 bultos cada una, y a través de un montacargas son llevados a las bodegas de almacenamiento.

El empaque de harina de ½ kg. se produce en una maquinas automática volumétricas, que forma la bolsa de polietileno y deposita la cantidad exacta a llenar.

El salvado de 50, y 22 kg. se empaqa totalmente en sacos de polipropileno; el producto cae desde las tolvas por gravedad a una llenadora volumétrica de tornillo vertical, la cual ensaca el producto para su posterior pesada y cosida en forma manual.

La harina de tercera se llena directamente desde los pasajes que los producen, en empaque de polipropileno y en presentaciones de 50 kg.

Todo el producto empacado, es transportado por bandas y colocado en estibas de madera con capacidad de 30 bultos cada una, luego con un montacargas son llevados a las diferentes bodegas.

## 7. MATERIA PRIMA Y PRODUCTO ELABORADO

### 7.1 EL TRIGO

El trigo es un cereal, y como cereal es una planta herbácea que hace parte de la familia de las plantas gramíneas, con espigas terminales compuestas de tres o más carreras de granos, de los cuales, triturados se obtiene la harina.

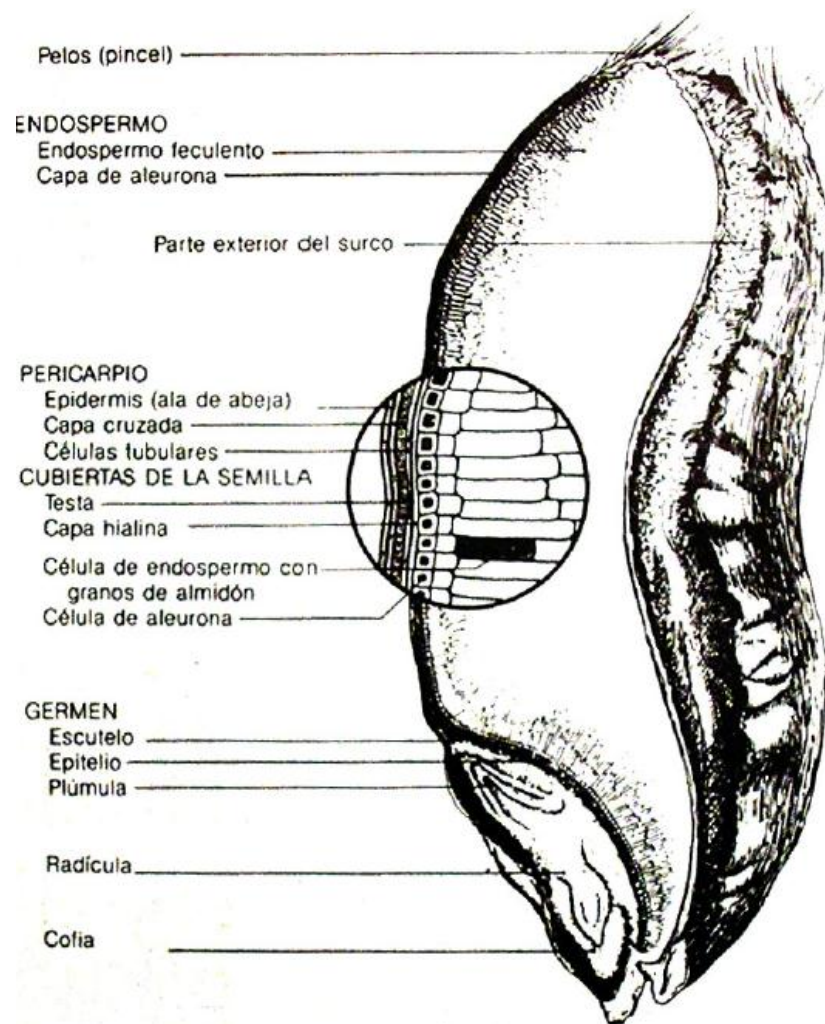
Existen muchas variedades de trigo que se agrupan en las series: diploide, tetraploide y hexaploide.

La serie diploide (14 cromosomas) está constituida por variedades de trigo de pequeño tamaño y duro. La harina es amarilla o parduzca y dan un pan oscuro. Se cultiva poco y suele usarse para pienso.

La serie tetraploide tiene entre sus variedades una que se conoce como trigo duro y por su gran cantidad de gluten se suele usar para elaborar pastas alimenticias (macarrones, espagueti, etc.).

La serie hexaploide tiene entre sus variedades una conocida como trigo candeal que es el más apropiado para la elaboración de pan.

**7.1.1 Estructura del trigo:** El grano de trigo es de forma ovalada con extremos redondeados y estructuralmente está integrado por el germen o embrión, el endospermo y el salvado, que se separan durante el proceso de la molienda. El germen se encuentra en un extremo, mientras que en el otro hay un grupo de finas vellosidades; a lo largo de la cavidad del grano existe un repliegue o surco llamado aleurona y varias capas envolventes. Tiene una longitud comprendida entre 5 y 8mm, una anchura comprendida entre 2.5 y 4.5 mm, y un peso de 35mg. El tamaño varía ampliamente según la variedad. (García, 2006)



**Figura 6.** Sección longitudinal del grano de trigo.<sup>2</sup>

**El endospermo:** Envuelve al embrión y constituye entre el 83-85% total de la semilla, y su componente mayoritario es el almidón, seguido de proteínas (responsables del gluten) y en un menor porcentaje lípidos, hierro, así como las principales vitaminas B, como la riboflavina, tiamina, y niacina, y ácido fólico; es también una fuente de fibra soluble. Tiene

<sup>2</sup> “Ampliación de la sección de molienda y cernido de una Fábrica de harina de trigo”, GARCÍA L., Pág. 22.

una capa diferenciada externa (aleurona) donde reside casi toda la vida enzimática, y el resto del grano, que es la parte de mayor peso, constituye la reserva energética del grano. En los procesos industriales de molienda, es el núcleo donde se obtiene la mayoría del producto.

***El salvado:*** Formado por las capas externas del pericarpio, las capas envoltantes del endospermo o aleurona y las del germen, constituyen aproximadamente el 12-14% del grano, y cuyo componente mayoritario es celulosa y hemicelulosa, seguido de proteínas y minerales.

Está formado por tres capas: una interior laminar que se rasga considerablemente durante la maduración y esta representada en el grano maduro por una capa de células ramificadas como hifas, llamadas células tubulares ; el pericarpio, que es una capa intermedia, una externa generalmente más dura, que protege la semilla. En la capa interior de la testa del trigo suele estar fuertemente pigmentada y es la que le confiere al grano su color característico.

Contiene fibra dietética, una pequeña cantidad de proteínas, cantidades significativas de vitamina E y B, minerales, antioxidantes, y fotoquímicos. El salvado es parte de la harina de trigo integral y puede ser comprado por separado.

***El germen o embrión:*** A penas representa el 2% o 3% del grano, y su finalidad es formar la futura planta cuando se le dan las condiciones adecuadas. El componente mayoritario de este grupo es la materia grasa, seguido de proteínas (principalmente enzimas) y en una menor proporción azúcares, minerales y vitaminas B y E. Es separado de la harina en la molienda por su alto contenido de grasa (10%), que por acción del aire tiende a enranciarse. El germen de trigo puede comprarse por separado.

**7.1.2 Composición química del grano de trigo:** El grano maduro del trigo está formado por: hidratos de carbono (principalmente fibra cruda, almidón, glucosa y maltosa), compuestos nitrogenados (principalmente proteínas: albúmina, globulina y gluteínas entre

otras), lípidos (ácidos grasos: palmítico y esteárico), sustancias minerales (potasio (K), fósforo (P), azufre (S) y cloro (Cl)) y agua, junto con pequeñas cantidades de vitaminas (complejo B por ejemplo), enzimas y otras sustancias (como pigmentos), algunas de las cuales son nutrientes importantes de la dieta humana.

Estos nutrientes se encuentran distribuidos por todo el grano, aunque algunos se concentran en determinadas regiones. El almidón está presente únicamente en el endospermo, la fibra cruda está reducida casi exclusivamente al salvado y la proteína se encuentra por todo el grano. Aproximadamente la mitad de los lípidos totales se encuentran en el endospermo, la quinta parte en el germen y el resto en el salvado. Más de la mitad de las sustancias minerales totales están presentes en el pericarpio, testa y aleurona. (García, 2006)

La tabla 4. resume lo descrito en el anterior párrafo.

**Tabla 4.** Distribución de los componentes más importantes del grano de trigo en las principales porciones morfológicas de este (en %).<sup>3</sup>

COMPONENTE	ENDOSPERMO	ENVOLTURAS	EMBRIÓN
Proporción media en el grano	82,5	15	2,5
Proteína	72	20	8
Almidón	100	0	0
Fibra bruta	8	88	4
Lípidos	50	30	20
Sales minerales	32	54	14
Acido pantoténico	42	50	8
Riboflavina	32	42	26
Niacina	12	86	2
Piridoxina	6	73	21
Tiamina	3	33	64

<sup>3</sup> Ibid., Pág. 24.

### 7.1.3 Características de los principales componentes del trigo

**Humedad:** El contenido de humedad del trigo es importante porque el grano no puede ser almacenado de forma segura con porcentajes superiores a 12-13%, ya que de esta forma se disminuiría el rendimiento de la molienda.

**Hidratos de carbono:** Representan el 60-75% del peso seco del grano de trigo. El componente principal de esta fracción es el almidón, el cual desempeña un papel de sustancia de reserva del grano de trigo para nutrir en su momento al embrión, está compuesta por muchas moléculas de glucosa unidas entre sí.

Otros componentes importantes de la fracción de hidratos de carbono son las hemicelulosas, la celulosa y los azúcares libres.

**Proteínas:** El contenido de proteína por lo general es el índice más importante para predecir la calidad industrial y en la harina varía del 6 al 16% aunque en el grano hay un aumento 0.8 a 1.8% debido a que el salvado y el germen son más ricos en proteína que el endospermo.

Una forma utilizada por los industriales en el comercio para valorar el contenido de proteína de un trigo, es mediante la determinación de su contenido en **gluten**, forma equivalente aunque menos exacta, pero de todas maneras más rápida y simple, por cuanto la evaluación de la proteína exige métodos químicos y equipos más complicados y lentos.

Para los panaderos, la calidad de la proteína es muy importante. Por ejemplo, la harina de dos diferentes cultivos con el mismo contenido de proteína, pueden dar resultados bastante diferentes en el volumen de la hogaza (barra) de pan; parece ser que la genética es la responsable de estas diferencias; a su vez, las diferentes variedades dentro de las especies que crecen bajo condiciones idénticas, pueden tener distintos contenidos proteínicos.

El rango existente de contenido de proteína dentro de un cultivo puede deberse muy bien a factores ambientales.



Los trigos que se aceptan como de mejor calidad en el mundo son los Canadienses, presentan un contenido de proteínas alrededor de 13.5 a 14% y los americanos y argentinos 12 a 13%.

**Lípidos:** Representan normalmente el 1-4% del peso del grano. Los lípidos en el endospermo, que se pasan a la harina, son de interés para los panaderos ya que participan en el desarrollo del gluten durante el mezclado de la masa e influyen en la calidad del gluten.

**Sales minerales:** Los minerales constituyen el 1-3% del peso del grano. Estos constituyentes se localizan, en su mayor parte, en el pericarpio del grano. Los más abundantes son el fósforo y el potasio, seguidos por el magnesio. En menor proporción se encuentran el silicio, el sodio y el calcio. Entre los micronutrientes, el más abundante es el hierro, seguido por el manganeso, el cobre y el zinc.

**Vitaminas:** El trigo entero es una buena fuente de vitaminas del grupo B, siendo la más abundante la niacina, seguida por el ácido pantoténico, la tiamina, la piridoxina y la riboflavina. También es rico en vitamina E, y en proporción muy baja, otras vitaminas muy importantes como la C, B<sub>12</sub>, A y D. La mayoría de las vitaminas se encuentran en el salvado y el germen de la semilla del trigo.

#### 7.1.4 Clasificación del trigo:

**Según su ciclo biológico:** Los trigos se clasifican por su ciclo biológico en trigos de otoño-invierno y trigos de primavera-verano. Los primeros se siembran durante el otoño y suelen interrumpir su crecimiento durante los fríos invernales reactivándose en primavera, y recogiendo en verano. Los trigos de primavera-verano tienen un ciclo más corto de manera que se pueda recoger la cosecha antes de que comiencen los hielos de otoño.

Las características climáticas de las localidades donde se cultiva el trigo de primavera (máxima pluviosidad en primavera y comienzo de verano y máxima temperatura en pleno y final de verano) favorecen la producción de granos de maduración rápida, con endospermo de textura vítrea y alto contenido proteico adecuado para la panificación.

El trigo de invierno, cultivado en un clima de temperatura y pluviosidad más constantes, madura más lentamente produciendo cosechas de mayor rendimiento y menor riqueza proteica, más adecuado para galletas y pastelería que para la panificación.

**Según el color del grano:** El color de la cuarta capa (testa) da origen a una nomenclatura de trigos muy frecuentemente utilizada en el comercio internacional. Así, existen trigos rojos (red), amarillos (yellow) y blancos (white).

**Según la textura del endospermo:** Esta característica del grano está relacionada con la forma de fraccionarse el grano en molturación. La textura del endospermo puede ser vítrea o harinosa.

Esta textura depende principalmente de la especie o variedad pero también depende de las condiciones de cultivo y de los fertilizantes utilizados. Existen asimismo, granos semivítreos y semiharinosos, intermedios de los anteriores.

El carácter harinoso se favorece con las lluvias fuertes, suelos arenosos ligeros y plantación muy densa y depende más de estas condiciones que del tipo de grano cultivado. El carácter vítreo se puede inducir con el abono nitrogenado o con fertilizantes comerciales y se correlaciona positivamente con alto contenido de proteína.

Según García (2006), los granos vítreos son traslucidos y aparecen brillantes contra la luz intensa, mientras que los harinosos o farináceos son opacos y resultan oscuros en las mismas circunstancias. En general, la especie “durum” produce trigos vítreos y el almidón de sus endospermos se fractura dando una “harina” gruesa, arenosa, fácil de cernir, que se denomina sémola. La especie “vulgar” (“ordinaria”, “aestivum”) produce la verdadera harina, que será más o menos oscura dependiendo de la proporción de partículas de

almidón respecto a las de aleurona que se conservan tras el proceso de extracción (molienda del grano).

**Según el carácter de molturación (dureza):** La “dureza” o “blandura” son características de molinería, relacionadas con la forma de fragmentarse el endospermo.

En los trigos duros, la fractura tiende a producirse siguiendo las líneas que limitan las células, mientras que el endospermo de los trigos blandos se fragmenta de forma imprevista, al azar.

Los trigos duros básicamente se utilizan como materia prima de la harina con que se hace el pan. En estos trigos la proteína se pega muy bien a la superficie del almidón con un enlace muy fuerte y en la molienda, las células del endospermo al separarse permanecen mucho más enteras, posibilitando el suministro de una harina de tamaño grande, arenosa, fluida y fácil de cernir, que presenta como característica una alta facilidad para absorber agua, compuesta por partículas de forma regular, muchas de las cuales son células completas de endospermo.

Los trigos blandos se caracterizan por la unión entre la proteína y el almidón, la cual se rompe con facilidad (es débil) y el grano se desintegra con fuerza muy pequeña produciendo una harina muy fina formada por fragmentos irregulares de las células del endospermo (además fragmentos muy pequeños y gránulos de almidón) y partículas planas que se pegan unas a otras, ciernen con dificultad y tienden a tapar las aberturas de los cedazos industriales.

La dureza afecta a la facilidad con que se desprende el salvado del endospermo. En el trigo duro, las células del endospermo se separan con más limpieza y tienden a permanecer intactas, mientras que el trigo blando, las células del endospermo subaleurona, tienden a fragmentarse, desprendiéndose una parte mientras que otra parte queda unida al salvado.

Los tipos de trigo que sirven para la molienda deben clasificarse para adecuarlos a su diferente uso, y éstos se dividen en seis clases, de variedad de invierno y primavera. La variedad es determinada por la dureza, el color del grano y por su temporada de siembra. Cada clase de trigo tiene sus características propias, relativamente uniformes, relacionadas a la molienda, panificación u otros usos.

**Tabla 5.** Clasificación del Trigo.<sup>4</sup>

<b>Hard Red Winter (HRW).</b>	<b>Hard Red Spring (HRS).</b>	<b>Hard White (HW).</b>
<p>Trigo Duro Rojo de Invierno, es un trigo panificable importante el cual se siembra en otoño, se produce en grandes praderas. Tiene un alto contenido proteínico de 11 ó 12%, y rico en gluten con buenas cualidades para la molienda. No existen subclases de esta clase. Se utiliza para la fabricación de pan con levadura de alta calidad y los panecillos.</p>	<p>Trigo Duro de Primavera. Otro importante trigo para panificación, que posee el más alto contenido proteico, usualmente 13 a 14% en adición a sus buenas características molineras y panificadoras. Este trigo es sembrado en primavera, las subclases se basan en el contenido de granos oscuros, duros y vítreos e incluyen el darknorthernspring y red spring. Se utiliza para la fabricación de pan con levadura y los panecillos.</p>	<p>Blanco Duro. Se utiliza en la fabricación de fideos, panes de levadura y panes planos.</p>
<b>Soft White (SW).</b>	<b>Soft Red Winter (SRW).</b>	<b>Durum.</b>
<p>Blanco Suave. Es el preferido para panes sin levadura, pastelería, galletas y fideos chinos. Es un trigo bajo en proteínas, usualmente cerca del 10%. Las sub-clases son el soft white, white club y western white.</p>	<p>Rojo Suave de Invierno. Sembrado en otoño. Es un trigo de rendimiento alto pero bajo en proteínas, usualmente el 10%. Es usado para pastelería, panes sin levaduras, galletas cracker y bocadillos (snacks).</p>	<p>El más duro de todos los trigos. Se siembra en primavera Proporciona semolina para los espaguetis, macarrones y otras pastas alimenticias. Las subclases son el hardamberdurum, amberdurum y durum.</p>

### 7.1.5 Mercado y usos del trigo

A nivel mundial el principal destino del trigo es la alimentación humana, con un 72% del consumo total, seguido por la alimentación animal (18%), semilla y otros (10%).

<sup>4</sup> Libro *Trigo, cebada, avena*. De "Editores Trillas", Pág. 36.

Casi todo el trigo se destina a la fabricación de harinas para panificadoras y pastelería. En general, las harinas procedentes de variedades de grano duro se destinan a las panificadoras y a la fabricación de pastas alimenticias, y las procedentes de trigos blandos a la elaboración de masas pasteleras.

El trigo también se utiliza para fabricar cereales de desayuno y, en menor medida, en la elaboración de cerveza, whisky y alcohol industrial.

Los trigos de menor calidad y los subproductos de la molienda y de la elaboración de cervezas y destilados se aprovechan como piensos para el ganado.

Oceanía y Europa destacan por la mayor utilización de trigo para la alimentación animal en reemplazo de maíz exportado, lo que se explica por la relevancia alcanzada en la industria productora de carnes y lácteos.

En el caso de África y Asia, la gran densidad de población y menor producción de granos en el caso del primer continente, explica entre otros factores el alto volumen de trigo destinado a alimentación humana.

En América del Sur el uso mayoritario del trigo es la alimentación humana, mientras que en América del Norte y Central, esta importancia se reduce en concordancia con la mayor utilización en alimentación animal.

La demanda internacional por trigo se encuentra concentrada básicamente en cinco regiones: Este y Sur-Este de Asia, África, América Latina y Medio Oriente, absorbiendo en conjunto un 76% del volumen internacionalmente transado. A nivel de países los mayores importadores de trigo son Japón, Brasil y Egipto, con una mayor participación conjunta de un 17% en el comercio mundial.

Es importante señalar que los tipos o clases de trigo que demandan los principales mercados varían según las regiones, y según los usos. Mientras América Latina demanda

fundamentalmente trigo rojo suave y duro, los países asiáticos y del medio oriente importan volúmenes crecientes de trigos blancos duros.<sup>5</sup>

## **7.2 PRODUCCIÓN DEL TRIGO EN EL PAÍS**

Siendo el país deficitario en la producción de trigo y sumado al hecho de que por la situación geográfica no es factible producir trigo con la calidad del gluten requerido en el proceso industrial de la panificación y la pastificación (para calidad superior), con el fin de satisfacer el gusto de los consumidores se importa el trigo desde los Estados Unidos y Canadá y en menor proporción desde Argentina.

También, la industria molturadora del trigo absorbe la cosecha nacional en el orden de las 5.000 toneladas en el año, que se producen en los departamentos de Nariño, Boyacá y Cundinamarca.

## **7.3 HARINA DE TRIGO**

La Harina de trigo se define como el producto preparado a partir del trigo común mediante procesos de trituration y molturación, con los cuales se elimina parcialmente el germen y el salvado, y el resto es reducido a un grado de finura adecuado.

Los objetivos para obtener harina blanca son:

- Separar lo más completamente posible el endospermo (que es lo necesario para la harina) del salvado y del germen, que son rechazados de forma tal que la harina quede libre de escamas de salvado y con buen color y la consiguiente mejora al paladar y a la digestión del producto y aumento del tiempo de almacenamiento.

---

<sup>5</sup> “Ampliación de la sección de molienda y cernido de una Fábrica de harina de trigo”, GARCÍA L., Pág. 28 - 29.

- Reducir la mayor cantidad de endospermo a finura de harina, para conseguir la máxima atracción de harina blanca.

El endospermo triturado es lo que se llama harina; el germen, salvado y endospermo residual adherido, son los subproductos resultantes que se utilizan sobre todo en alimentación animal.

**7.3.1 Composición de la Harina de Trigo:** La Harina debe ser: suave al tacto, de color natural, sin sabores extraños a rancio, moho, amargo o dulce. Debe presentar una apariencia uniforme sin puntos negros, libre de insectos vivos o muertos, cuerpos extraños y olores anormales.

Su composición debe ser<sup>6</sup>:

Glúcidos.....	74-76%
Prótidos.....	9-11%
Lípidos.....	1-2%
Agua.....	11-14%
Minerales.....	1-2%

**Glúcidos:** El almidón es el componente principal de la harina, se presenta en forma de gránulos, aglutinados por las proteínas. Las harinas procedentes de trigos blandos presentan un almidón menos aglutinado (más libre) que los procedentes de otros trigos.

El almidón tiene la propiedad de absorber agua, cuando se calienta con agua este se gelifica (se hincha) y forma el llamado engrudo de almidón. Parte de este proceso tiene lugar en el pan, pero no llega a ser completo porque la cantidad de agua presente resulta insuficiente para gelificar todo el almidón.

---

<sup>6</sup> Ibid., Pág. 30.

El almidón también influye (junto con el gluten) en la geometría de la masa panadera. Se elaboran panes sin gluten para enfermos celíacos y en cierta medida, el almidón mezclado con un poco de caseína es capaz de proporcionar coherencia a la masa de estos panes.

Junto con el almidón, vamos a encontrar unas enzimas que van a degradar un 10% del almidón hasta azúcares simples, son la alfa y beta amilasa. Estas enzimas van a degradar el almidón hasta dextrina, maltosa y glucosa que servirá de alimento a las levaduras durante la fermentación.

**Prótidos:** La cantidad de proteínas varía mucho según el tipo de trigo, la época de recolección y la tasa de extracción, entendiendo esta como la cantidad de harina que se obtiene a partir de 100 kilogramos de trigo.

Las proteínas existentes en la harina, después de la molienda, pueden clasificarse en:

- Solubles en agua (22%): albuminas (15% del total) , globulinas (6,5%) y proteosas, peptonas y péptidos (proteínas simples o fragmentos de proteínas) que suponen el 0.5% del total.
- Insolubles en agua (que constituyen el 78% restante). Se distinguen dos modalidades de estas proteínas, gliadina (33%) y glutenina (45%), que son los constituyentes del gluten.

El gluten es un complejo de proteínas insolubles que le confiere a la harina de trigo la cualidad de ser panificable. Es responsable de la elasticidad de la masa de harina, lo que permite su fermentación, así como la consistencia elástica y esponjosa de los panes y masas horneadas.

El gluten está conformado por gliadina y glutenina. La primera confiere al gluten su plasticidad y elasticidad, mientras que la segunda se encarga de la fuerza o tenacidad de la masa generando una estructura proteica estable en la masa panadera donde quedan englobados el almidón y los gases que esponjan el pan.



La cantidad de gluten presente en una harina es lo que determina que la harina sea “fuerte” o “floja”. La harina floja es pobre en gluten, absorbe poco agua, forma masas flojas y con tendencia a fluir durante la fermentación, dando panes bajos y de textura deficiente. No son aptas para fabricar pan pero si galletas u otros productos de repostería.

**Lípidos:** Las grasas de la harina proceden de los residuos de las envolturas y de partícula del germen. El contenido de grasas depende por tanto del grado de extracción de la harina. Cuanto mayor sea su contenido en grasa, más fácilmente se enranciará. Es importante destacar que parte de estas materias desaparecen durante el envejecimiento de las harinas y se convierten en ácidos grasos que alteran la calidad de la harina.

**Agua:** El contenido de agua de la harina es una característica importante, particularmente en relación con la seguridad de su almacenamiento. El contenido óptimo de humedad de la harina para su almacenamiento, debe interpretarse en relación, recordando que la harina ganará o cederá humedad al aire ambiente a menos que se envase en condiciones herméticas.

**Materias minerales:** Las materias minerales están formadas principalmente por calcio, magnesio, sodio, potasio, etc., procedentes de la parte externa del grano, que se incorporan a la harina según su tasa de extracción.

**Vitaminas:** La harina contiene vitaminas B<sub>1</sub> (tiamina), B<sub>2</sub> (riboflavina), B<sub>3</sub> (niacina), B<sub>6</sub> (piridoxina) y vitamina E.

**7.3.2 Control de Calidad de la Harina:** Los diferentes análisis que se practican a la harina de trigo para determinar sus características son los siguientes:

**Medida de la humedad:** La determinación del índice de humedad de una harina se puede realizar por pérdida de peso, por métodos basados en la conductividad eléctrica o bien por desecación de la muestra bajo lámpara de infrarrojos.

**Contenido de proteínas:** Es un componente de gran trascendencia porque de su calidad y cantidad dependerá la calidad panadera de la harina.

**Contenido de cenizas:** Este ensayo consiste en la incineración del material en un horno a una temperatura especificada y bajo condiciones prescritas y pesada de la ceniza resultante. Esta determinación es muy utilizada como medida del grado de extracción de la harina ya que el endospermo puro produce pocas cenizas mientras que el salvado y el germen producen mucho más.

**Índice de caída o Falling Number:** Con este método se mide la velocidad de transformación del almidón por acción de amilasas. Cuando estas enzimas se encuentran en exceso el pan resulta con miga de poca consistencia. Cuando existen pocas amilasas el pan resulta muy seco y experimenta una disminución del volumen normalmente esperado.

**Alveógrafo de Chopin:** Con el alveógrafo se obtiene una simulación del comportamiento que tendrá posteriormente la masa al formarse en su interior infinidad de agujeros o alvéolos como resultado de la fermentación que provocan las levaduras en la masa del pan. Estas levaduras al atacar a la glucosa producen alcohol y anhídrido carbónico, este último gas es el que da origen a los “agujeros” u “ojos” del pan.

La simulación se realiza inyectando aire a presión en una lamina de masa panaria y determinando las características del globo formado, se mide su altura (P) y la longitud (L). Este trabajo da origen a un valor W que junto con el cociente P/L nos determina las cualidad plásticas de la harina.

Los trigos que no llegan a dar harinas con  $W=90$  suelen ser destinados a piensos y los que alcanzan  $W=250$  se denominan mejorantes y sus harinas sirven para incrementar la calidad panadera de otras variedades.

**Farinograma:** Este método se aplica para la determinación de la absorción de agua y el comportamiento durante el amasado de una harina de trigo. El farinógrafo, que es el aparato que se utiliza, mide y registra la resistencia de una masa de harina y agua con una consistencia determinada al someterla al amasado.

La absorción de agua se define como el porcentaje de agua, respecto al peso de harina, que es necesario añadir para obtener una masa de consistencia determinada. La absorción es un dato de mucha importancia en panificación (cuanto más absorba una harina más cantidad de pan se podrá elaborar con el mismo peso de ella) y depende de la calidad del gluten.

**Índice de Zeleny o de sedimentación:** Esta determinación nos da información sobre la cantidad y calidad de las proteínas. Se basa en la diferente velocidad de hidratación de las proteínas del gluten en función de su calidad. El esponjamiento del gluten en solución de ácido láctico afecta al grado de sedimentación de una suspensión de harina. Así, una sedimentación muy rápida indica que el gluten formado es de poca calidad, mientras que una sedimentación lenta y con mayor esponjamiento indica un gluten de mejor calidad. (García, 2006).

#### **7.4 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO TERMINADO**

La industria harinera RAFAEL DEL CASTILLO & CÍA S.A MOLINO TRES CASTILLOS posee diversas líneas de producción, de las cuales se seleccionaron dos tipos de harina, correspondientes a la línea de Panificación y Especialidad respectivamente, descritas a continuación:

#### 7.4.1 Línea de Panificación

- **HARINA TRES CASTILLOS** “La Harina con más tradición”

**Tabla 6.** Descripción del producto Harina Tres Castillos.

<b>INGREDIENTES</b>	100% Harina de Trigo, Alpha-Amilasa, Ácido Ascórbico, Azodicarbonamida.	
<b>CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS</b>	Color: Blanco Crema	
	Olor-Sabor: Característico, libre de olores y sabores extraños.	
<b>PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS</b>	Humedad	< 15%
	Gluten(Húmedo)	30 – 37%
	Proteína	> 11%
	Cenizas(Fibra cruda)	< 0,7%
<b>MICRONUTRIENTES</b>	Vitamina B1	6mg / Kg
	Vitamina B2	4mg / Kg
	Niacina	55mg / Kg
	Ácido Fólico	1,54mg/ Kg
	Hierro	44mg / Kg

**Características del producto:** Es la harina utilizada para panificación, elaborada a partir de granos de trigo común, por medio de molindas y cernidos sucesivos, en los que se separa hasta obtener un grado adecuado de extracción y finura a los cuales se fortifica con vitaminas y se les adiciona enzimas y aditivos mejoradores de acuerdo a las leyes y normas gubernamentales.

Proporciona la ventaja de estandarizar procesos, gracias a su estabilidad. Posee una alta absorción que permite elaborar más unidades con la misma cantidad de harina. Excelente textura y miga uniforme para sus productos finales.

**Usos:** Es una harina multipropósito, diseñada especialmente para todo tipo de panes: Pan de sal, Panes dulces, Pan de molde, Tostadas, Rellenos; y toda clase de productos relacionados con harinas de trigos.

**Transporte:** A temperatura ambiente y protegido de la humedad, evitando cualquier contaminación y daño del producto.

**Almacenamiento:** Almacenar sobre estibas en lugar de libre humedad, olores fuertes, insectos y roedores.

**Vida útil:** Consumir antes de la fecha de vencimiento registrada en el empaque.

**Presentación:** Empaque de papel kraf de capas múltiples de 12.5, 25 y 50Kg; empaque de polietileno de 1Kg y 500gr.

#### 7.4.2 Línea de Especialidad

- **HARINA ELITE** “La Pastelera”

**Tabla 7.** Descripción del producto Elite.

<b>INGREDIENTES</b>	100% Harina de Trigo	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	Color: Blanco Crema	
<b>ORGANOLÉPTICAS</b>	Olor-Sabor: Característico, libre de olores y sabores extraños.	
<b>PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS</b>	Humedad	12 – 14%
	Gluten(Húmedo)	22 – 28%
	Proteína	8 – 12%
	Cenizas(Fibra cruda)	0,3 – 0,45%
<b>MICRONUTRIENTES</b>	Vitamina B1	6mg / Kg
	Vitamina B2	4mg / Kg
	Niacina	55mg / Kg
	Ácido Fólico	1,54mg/ Kg
	Hierro	44mg / Kg

**Características del Producto:** Es una harina que cuenta con propiedades que disminuyen el trabajo mecánico y tiempos de proceso, por eso se dice que es de poca fuerza, con lo cual se puede lograr una excelente presentación y desempeño en productos que requieran como base una harina con un bajo contenido de gluten, cenizas y altísima finura. Con ELITE se

elaboran masas más extensibles que las de harinas panificables, dando un mayor número de unidades.

Además en los productos finales se obtiene mejor presentación, crocancia y frescura, mayor periodo de vida útil, disminuyendo las devoluciones. Capas internas uniformes en productos hojaldrados.

**Usos:** Es la harina que se puede emplear para lograr resultados incomparables en toda la línea de pastelería y repostería con la mejor apariencia (Pastelería fina, pasta danesa, pasta de croissant, toda clase de productos laminados, pastas, hojaldres, base de crepes, bases para pie, base de galletería, pasta filo y alta repostería entre otros productos de la misma naturaleza.

**Transporte:** A temperatura ambiente y protegido de la humedad, evitando cualquier contaminación y daño del producto.

**Almacenamiento:** Almacenar sobre estibas en lugar libre de humedad, olores fuertes, insectos y roedores.

**Vida útil:** Consumir antes de la fecha de vencimiento registrada en el empaque.

**Presentación:** Empaque de papel kraf de capas múltiples de 12.5 y 50kg.

## 8. METODOLOGÍA

La presente investigación fue de tipo descriptiva, ya que se trabajó sobre un proceso real, con el fin de exponer una interpretación de los fenómenos que se presentan; y cuantitativa, puesto que se hizo una medición de las variables o propiedades importantes que influyen en el proceso para su posterior análisis.

- **Recolección de Información**

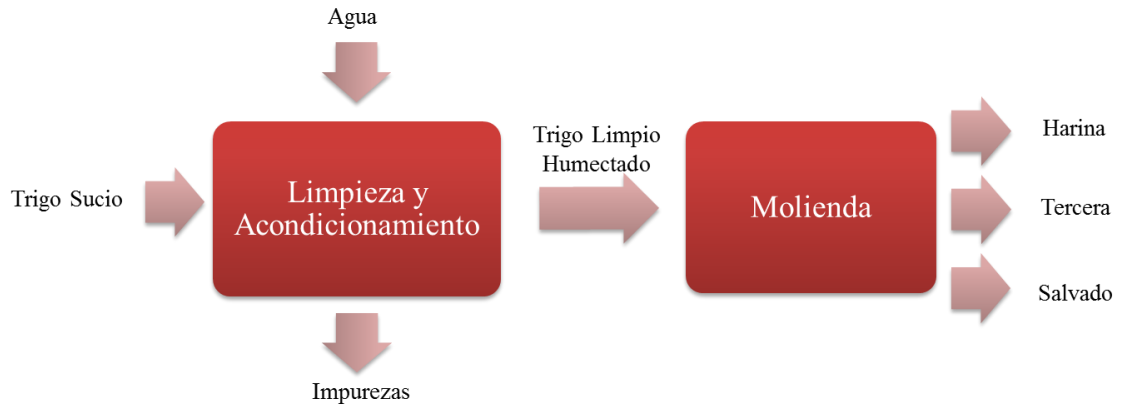
Se inició con una intensiva búsqueda bibliográfica con el fin de hacer uso de la teoría ya existente y del trabajo realizado por otros autores. La fuente bibliográfica fue de revistas científicas, bases de datos (ScienceDirect) e información en páginas web. Por otro lado, se añadió información suministrada por la empresa y datos obtenidos por medio de pruebas e instrumentos de medición.

- **Delimitación del ámbito de aplicación del Estudio para el Análisis Exergético**

La industria harinera Rafael del Castillo & Cía. S.A., posee dos plantas de producción, por dicha razón, se optó por delimitar el espacio en el que se va a trabajar para la realización del Análisis Exergético, y se tomó como decisión sólo aplicarlo con los equipos ubicados en la planta 2, ya que ésta fue sometida a cambios de tecnologías, por lo que resulta beneficioso para la empresa saber la eficiencia energética de la misma y si en un futuro sería rentable aplicar dichos cambios a la otra planta.

Así mismo, se realizó una delimitación con respecto al proceso de producción, el cual consta de 4 etapas: Recibo y Almacenamiento, Limpieza y Acondicionamiento, Molienda, y Empaque, de las cuales se escogieron sólo dos, las correspondientes a la Limpieza y Acondicionamiento junto con la Molienda, pues éstas serían las etapas en las cuales habría un mayor gasto energético.

**Figura 7.** Etapas Seleccionadas para Análisis Exergético.



También, cabe resaltar que esta industria posee diferentes líneas de producción, descritas en el marco referencial. Por lo anterior, realizar el trabajo con cada uno de ellas sería un poco extenso; para hacer el estudio más concreto, se decidió seleccionar solamente un producto, HARINA TRES CASTILLOS, correspondiente a la línea de panificación.

- **Análisis de los Aspectos e Impactos Ambientales del Proceso de Producción**

Antes de la aplicación del Análisis Exergético, fue necesario conocer los subproductos y/o residuos generados en el proceso de producción de la harina.

Durante el proceso de producción de las diferentes líneas se obtienen dos subproductos llamados Salvado y Tercera. El primero, es la cascarilla o capa externa del trigo, y el segundo, se caracteriza por tener en su composición parte de harina del proceso mezclada con residuos de Salvado. Estos proveen beneficio económico a la empresa, pues ambos son empacados como un producto más y son vendidos por su uso complementario en la alimentación.

Al finalizar la etapa de Limpieza del trigo se generan residuos, como son granos de maíz, soya y cascarilla, estos son enviados a un molino de martillos donde se les reduce de



tamaño y luego se les alimenta a la línea de subproductos para aumentar el nivel de fibra y proteínas.

Se añade al trigo grandes cantidades de agua en la etapa de Acondicionamiento, ésta es absorbida por el grano casi en su totalidad, alcanzando la humedad requerida para su posterior molienda, el porcentaje de agua restante se evapora por lo cual no existen aguas residuales.

- **Variables medidas en el proceso**

**Tabla 8.** Lista de Variables.

VARIABLE	UNIDADES	SÍMBOLO	TIPO
Flujo másico	Ton/h	$\dot{m}$	Independiente
Humedad	%	$w_m$	Independiente
Proteínas	%	$w_p$	Independiente
Temperatura	K	T	Independiente
Potencia	KW	P	Independiente
Calor Específico	$\frac{KJ}{Kg K}$	$C_p$	Dependiente
Entalpía	$KJ/Kg$	H	Dependiente
Entropía	$KJ/KgK$	$\dot{S}$	Dependiente
Calor	KJ	$\dot{Q}$	Dependiente
Exergía	$KJ/Kg$	$\dot{E}$	Dependiente

- **Procedimiento para la recolección de datos**

Antes de comenzar con el desarrollo del análisis exergético se tomaron los datos de los flujos másicos de entrada y salida, potencia, voltaje, amperaje, la energía consumida y la eficiencia de cada uno de los equipos de la planta seleccionada durante el proceso de producción.

Los flujos másicos de entrada y salida fueron tomados con un cronómetro, dependiendo del caudal que transportara el flujo a contabilizar, se utilizaba un tiempo estándar oscilante entre 5- 15 segundos, y el producto se recibía en un saco para luego ser pesado en una báscula.

Por otro lado, se tomaron 5 muestras de cada uno de los flujos másicos obtenidos, para la aplicación de un análisis fisicoquímico en el laboratorio de la empresa, por medio de un Analizador infrarrojo cercano Spectrastar 2400 (Véase en el ANEXO 1). Este equipo nos suministró los datos de humedad y proteínas de cada muestra tomada. Luego se calculó un valor promedio de los resultados arrojados.

Con un termómetro, se midió la temperatura de todos los flujos del proceso. Para cada flujo se hicieron 5 tomas, y luego se calculó un dato promedio.

Los datos de potencia, voltaje y amperaje de los motores de los equipos se tomaron en sus respectivas placas, y los datos de consumo se adquirieron en fase de uso utilizando un instrumento de medición llamado Pinza Amperimétrica Tester (Véase en el ANEXO 2).

Con todos los datos obtenidos se hicieron los balances de masa, de energía y de entropía, para proseguir en la aplicación del Análisis Exergético.

## **8.1 METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS EXERGÉTICO**

A continuación, se muestra como se desarrolló la metodología básica del propuesto análisis exergético en la planta a aplicar.

**8.1.1 Especificación de los volúmenes de control:** Los componentes de la planta que se analizaron como volúmenes de control en este proyecto son:

- 1 Limpiadora con separador y canal de aspiración (Tarara)
- 1 Pulidora o despuntadora Horizontal

- 2 Banco doble de rodillos con cuatro pasos de molienda.
- 3 Bancos de rodillos estriados con dos pasos de molienda por banco.
- 5 Bancos de rodillos lisos con dos pasos de molienda por banco.
- 2 Cernedores planos con seis pasajes de cernido c/u.
- 1 Cernedor plano MPAJ 4-24 con ocho pasajes de cernido.
- 2 Cepilladoras de salvado
- 2 Turbocernedores.

Quedaron por fuera del análisis exergético a aplicar un molino de martillos, una turbina de alta presión, los elevadores de harina, un soplante para harina, un filtro de 62 mangas con su soplante, una tolva de reciclaje, un cernedor de control doble, siete disgregadores de impacto, cinco dosificadores de mejoradores y micronutrientes y por último, dos transportadores colectores de harinas terminadas; puesto que no son los componentes principales de las etapas de limpieza y molienda en el proceso de producción de la harina.

**8.1.2 Definición del ambiente de referencia del sistema:** Las condiciones específicas del ambiente de este trabajo fueron 30°C de temperatura y 1 atmosfera de presión.

**8.1.3 Simplificaciones:** Para facilitar el desarrollo de un modelo termodinámico más sencillo se efectuaron las siguientes simplificaciones:

- En el estudio se definió el proceso como flujo estacionario, ya que a pesar de los cambios ocasionados en las propiedades de manera periódica dentro del volumen de control, éstos no son muy significativos y por lo tanto se pueden analizar mediante valores promedios respecto al tiempo.
- La densidad del material durante todo el proceso, no sufre variaciones significativas, por lo tanto se supuso constante.

- De acuerdo a la simplificación anterior, se pudo concluir que las sustancias involucradas en el proceso seleccionado, son incompresibles.
- La energía cinética y la energía potencial, no son tenidas en cuenta en el balance de energía, debido que sus valores son poco relevantes en comparación a la energía interna.
- Se asumió que la entropía de referencia es igual a cero ( $S_{ref} = 0$ ), para la simplificación de cálculos matemáticos.
- Se consideró que los procesos llevados a cabo por el sistema no son reactivos, por lo que no se consideró la contribución de la exergía química en el cálculo de la exergía y en su análisis, quedando sólo la exergía termomecánica como contribuyente a la exergía del sistema.

**8.1.4 Análisis de los componentes del sistema:** Tomando en consideración las anteriores simplificaciones, se encuentran resumidas en el ANEXO 11 las ecuaciones de los balances de masa, energía y exergía para cada volumen de control.

**8.1.5 Análisis Exergético:**

- Se realizaron los balances de exergía, y simultáneamente se calculó las pérdidas y destrucción de exergía para cada volumen de control.
- Se calcularon las eficiencias exergéticas.
- Se elaboró el diagrama de flujo exergético.
- Se identificó donde se encuentran ubicados y cuál es la magnitud de los principales sumideros de exergía.

## **8.2 METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS EXERGOECONÓMICO**

Luego, se realizó la valoración de los costos de los recursos con los que cuenta el proceso de producción, calculando los costos exergéticos, los cuales muestran la distribución de recursos en el mismo, y se evaluó el costo resultante en unidades monetarias por unidad de tiempo.

## **8.3 ESTRATEGIA DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE ENERGÍA**

Se realizó un análisis de los resultados obtenidos con el fin de interpretar lo que sucedía en el proceso productivo de la planta, se propusieron posibles mejoras para minimizar el problema identificado, dando una solución tentativa y de fácil implementación para la empresa, aplicando los criterios de los cuales se fundamentó dicho estudio.

## 9. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Después de haber tomado los flujos másicos, los cuales se obtuvieron en unidades de kilogramos (Kg) por la base de cálculo en segundos (s), (dependiendo del caudal de flujo) se utilizó la siguiente ecuación para convertirlos a Ton / h.

$$\dot{m} = \left(\frac{m}{t}\right) \left(\frac{3600s}{1h}\right) \left(\frac{1Ton}{1000Kg}\right) \quad (9.1)$$

Para la realización del Balance de masa se tuvo en cuenta la siguiente ecuación que hace referencia a la Ley de la Conservación de la masa:

$$\sum_{in} \dot{m}_i = \sum_{out} \dot{m}_e \quad (4.4)$$

Como Balance Global del proceso de producción se obtuvo:

**Tabla 9.** Balance de masa Global del Proceso de Producción

BCE. GLOBAL	LÍNEAS	(Ton/h)
ENTRADA	TRIGO	9,681
SALIDA	HARINA	7,412
	TERCERA	0,521
	SALVADO	1,977
		9,910

Los datos correspondientes al Balance de masa por volúmenes de control, se plasmaron de la siguiente forma:

**Tabla 10.** Balance de masa de la Separadora y la Pulidora.

SEPARADORA			
ENTRADAS (Ton/h)		SALIDA (Ton/h)	
SEPARADORA	6,933	PULIDORA	6,480
		IMPUREZAS	0,401
<b>TOTAL</b>	<b>6,993</b>	<b>TOTAL</b>	<b>6,881</b>

PULIDORA			
ENTRADAS (Ton/h)		SALIDA (Ton/h)	
PULIDORA	6,480	TRIGO LIMPIO	6,363
		IMPUREZAS	0,079
<b>TOTAL</b>	<b>6,480</b>	<b>TOTAL</b>	<b>6,442</b>

Como se puede notar la carga de trigo limpio que salió de la pulidora es menor que el valor correspondiente al Trigo que entró en el Balance Global mostrado antes, la razón es porque el total de trigo que entra al proceso de molienda no es limpiado por la planta 2 (planta de estudio), hay una parte que pasa por el proceso de limpieza de la planta 1. Por otro lado, el total de la masa aumenta, ya que antes de molerse es sometido a un proceso de acondicionamiento, donde se le agrega el agua para humectarlo. Para mayor claridad en el balance y verificación de los datos obtenidos se decidió hacer el balance en el humectador a pesar que en la aplicación del Análisis Exergético no se haya seleccionado como volumen de control.

**Tabla 11.** Balance de masa en el humectador.

HUMECTADOR	LÍNEAS	(Ton/h)
ENTRADAS	TRIGO PLANTA 1	2,904
	TRIGO PLANTA 2	6,363
	<b>TOTAL TRIGO</b>	<b>9,305</b>
	AGUA	0,376
<b>SALIDA</b>	<b>TRIGO HUMECTADO</b>	<b>9,681</b>

Se puede ver con claridad que el total del trigo humectado es igual al valor que se obtuvo en el balance global. Es importante aclarar que al humectador de la planta en estudio se le adiciona trigo limpio de la otra planta para completar la carga necesaria, y así iniciar el proceso de molienda, ya que la planta 2 tiene poca capacidad en el proceso de limpieza.

Los balances de masa en los demás volúmenes de control se encuentran en el ANEXO 12.

Finalmente, se hizo un Balance de masa global de toda la harina producida durante el proceso de la HARINA TRES CASTILLOS en el período durante el cual se tomaron los

datos, se aclara que durante la producción de este tipo de harina también se produce otra llamada ELITE.

**Tabla 12.** Balance de masa global de la Harina Tres Castillos.

HARINA	LÍNEAS	(Ton/h)
ENTRADA	H1	7,412
SALIDA	HARINA	6,342
	ELITE	1,070
		7,412

Al culminar con el Balance de masa se procedió a realizar el Balance de Energía, utilizando la ecuación de la Ley de Conservación de Energía:

$$\dot{Q} - \dot{W}_{net} + \sum_{in} \dot{m}_i \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_i - \sum_{out} \dot{m}_e \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_e = \frac{dE_{vc}}{dt} \quad (4.2)$$

Para la realización del balance de energía fue necesario tener en cuenta las temperaturas, % de humedad y % de proteínas de cada uno de los flujos de entrada y salidas correspondientes a los volúmenes de control. Se debe recordar que estos últimos datos son promedios de 5 ensayos que se realizaron por muestra. (Véase en el ANEXO 9).

Luego, con los valores promedio obtenidos para el % de humedad y % de proteínas se calculó el calor específico para cada corriente con presencia de harina, a través de la ecuación mostrada a continuación, la cual es una correlación hallada en una investigación de calores específicos para harinas obtenidas de cereales (Kaletunc, 2007).

$$C_p = 1,132 + 0,0058T + 3,70w_m - 2,31w_m^2 + 0,62w_p \quad (9.2)$$

Donde:

T= Temperatura del flujo (°C);  $w_m$  = % de Humedad;  $w_p$  = % de Proteínas.



Para el caso del Cp del trigo, se calculó a partir de una ecuación obtenida en estudios experimentales (Cao, 2010), dando como resultado:

$$C_p = 1,11479 + 3.37138M + 0.00913 T - 0.00028778 MT - 0.00009249 T^2 + 0.00003354 MT^2 \quad (9.3)$$

Siendo:

M= Humedad del trigo (fracción decimal); T= Temperatura del trigo (°C).

Los valores de los Calores Específicos de todas las corrientes están dados en el ANEXO 10.

Para el Cp de las impurezas del trigo se tomó un valor promedio entre el Calor específico del sorgo y del maíz, siendo estos los cereales de mayor presencia en dicho flujo, quedando:

$$Cp_{Sorgo} = 1.7 \frac{KJ}{Kg K} \quad (9.4)$$

$$Cp_{Maíz} = 1.5 \frac{KJ}{Kg K} \quad (9.5)$$

$$Cp_{Impurezas} = \frac{1.7 KJ/(Kg K) + 1.5 KJ/(Kg K)}{2} = 1.6 \frac{KJ}{Kg K} \quad (9.6)$$

Para la realización del balance de energía, la energía cinética fue despreciada debido a que el valor de la velocidad de la harina por medio del transporte neumático es muy pequeña; con respecto a la energía potencial, la altura es mínima con referencia al nivel del piso, siendo el valor de esta energía casi insignificante para el balance. Teniendo en cuenta estas consideraciones, la ecuación (5.2) queda simplificada de la siguiente manera:

$$\dot{Q} - \dot{W}_{net} + \sum_{in} \dot{m}_i (h)_i - \sum_{out} \dot{m}_e (h)_e = \frac{dE_{vc}}{dt} \quad (9.7)$$

Donde:

$\dot{Q}$  = Calor;  $\dot{W}_{net}$  = Trabajo;  $\dot{m}_i(h)_i$  = Energía interna de las corrientes de entrada;  $\dot{m}_e(h)_e$  = Energía interna de las corrientes de salida. (Véase los datos de las entalpías en el ANEXO 10).

Sin embargo, la entalpía se puede denotar por función de estado a presión constante como:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p = C_p \quad (9.8)$$

Por integración,

$$\int_{H_{ref}}^H dH = \int_{T_{ref}}^T C_p dT = H - H_0$$

Despejando la entalpía,

$$H = H_0 + \int_{T_{ref}}^T C_p dT \quad (9.9)$$

Al combinar este resultado con la ecuación (9.7), se tiene que

$$\dot{Q} - \dot{W}_{net} + \sum_{in} \dot{m}_i \left( H_0 + \int_{T_{ref}}^T C_p dT \right)_i - \sum_{out} \dot{m}_e \left( H_0 + \int_{T_{ref}}^T C_p dT \right)_e = \frac{dE_{vc}}{dt}$$

Por cálculos matemáticos se obtiene:

$$-\dot{Q} + \dot{W}_{net} + \sum_{in} \dot{m}_i C_p (T - T_{ref})_i - \sum_{out} \dot{m}_e C_p (T - T_{ref})_e = \frac{dE_{vc}}{dt} \quad (9.10)$$

Los signos de los términos calor ( $\dot{Q}$ ) y trabajo ( $\dot{W}$ ) se estipularon por principios termodinámicos para cada uno de los volúmenes de control.

Para calcular el trabajo, se realizó la conversión de amperaje de consumo real a kilovatios, posteriormente, la cual se efectuó a través de la ecuación de potencia:

$$P = I \times V \quad (9.11)$$

Donde:  $P$  = Potencia (Vatios, W);  $I$  = Intensidad (Amperios, A);  $V$  = Voltaje (Voltios, V)

Luego, teniendo el trabajo en kilovatios por segundo, se halló en unidades de kilojoule por día, mediante el siguiente factor de conversión:

$$1KJ = \frac{1KW}{s} \rightarrow \left( \frac{1KW}{s} \times \frac{86400s}{dia} \right) = \frac{1KJ}{dia}$$

Después, se tomaron los datos de la energía consumida por los motores de los equipos (Véase el ANEXO 16), y se elaboró el respectivo balance de energía para cada volumen de control, teniendo como resultado, el calor perdido en dicho proceso (Véase el ANEXO 13).

Los cálculos de entropía se hicieron considerando la siguiente ecuación la cual es una función de estado:

$$\left( \frac{\partial H}{\partial S} \right)_p = T \quad (9.12)$$

Luego por relaciones de Maxwell se tiene que

$$\left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_p \left( \frac{\partial T}{\partial S} \right)_p = T \quad \left( \frac{\partial S}{\partial T} \right)_p = \frac{1}{T} \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_p$$

Al combinar este resultado con la ecuación 9.8

$$\left( \frac{\partial S}{\partial T} \right)_p = \frac{C_p}{T}$$

Se integra la anterior ecuación resultando:

$$s - s_{ref} = \int_{T_{ref}}^T \frac{C_p}{T} dT$$

Finalmente se obtuvo la siguiente expresión:

$$s = s_{ref} + C_p \ln\left(\frac{T}{T_{ref}}\right) \quad (9.13)$$

Esta se aplica para sustancias incompresibles y fue la utilizada para calcular la entropía específica en todas las corrientes del proceso (véase en ANEXO 10).

Luego, como se cito en el marco referencial del presente trabajo, el balance de entropía para cada volumen de control esta dado por:

$$\sum \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_e s_e + \dot{S}_{gen} = 0 \quad (4.13)$$

Donde:

$\frac{\dot{Q}_j}{T_j}$  = Entropía del Calor

$\dot{m}_i s_i$  = Entropía total de las corrientes de entrada

$\dot{m}_e(h)_e$  = Entropía total de las corrientes de salida

$\dot{S}_{gen}$  = Entropía generada por las irreversibilidades del proceso.

Todos los balances de entropía están representados en tablas para cada volumen de control en el ANEXO 14.

Posteriormente, para desarrollar el Análisis Exergético, se inicio con el cálculo de la exergía específica de los flujos físicos, la expresión utilizada se halló por la combinación de las ecuaciones (9.9) y (9.13) dando como resultado:

$$e = C_p(T - T_{ref}) - T_{ref}[C_p \ln\left(\frac{T}{T_{ref}}\right)] \quad (9.14)$$

Estos valores calculados, se encuentran en las tablas ubicadas en el ANEXO 10 para cada una de las corrientes presentes en el proceso.

A continuación, para realizar el balance de exergía se aplicó la ecuación siguiente, deducida de la ecuación (4.17) para sistemas cerrados:

$$\sum_j \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q}_j - \dot{W}_{vc} + \sum_i \dot{m}_i e_i - \sum_e \dot{m}_e e_e - E_D = 0 \quad (9.15)$$

Donde:

$\left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q}_j$  = Exergía del Calor;  $\dot{W}_{vc}$  = Trabajo suministrado al volumen de control;  $\dot{m}_i e_i$  = Exergía total de las corrientes de entrada;  $\dot{m}_e e_e$  = Exergía total de las corrientes de salida;  $E_D$  = Exergía destruida a causa de las irreversibilidades del proceso.

Todos los balances de exergía están tabulados para cada volumen de control en el ANEXO 15.

El siguiente paso fue el cálculo de las eficiencias exergéticas tomando la ecuación

$$\varepsilon_{ex} = 1 - \frac{\dot{E}_D}{\dot{E}_F} \quad (4.22)$$

Donde:

$\dot{E}_p$  = Exergía del producto;  $\dot{E}_F$  = Exergía del fuel o exergía correspondiente a lo que se alimenta a cada volumen de control (corriente de entrada o materia prima y el trabajo mecánico que ejerce el equipo, suministrado por energía eléctrica);  $\dot{E}_D$  = Exergía destruida.

Luego para que el Análisis Exergético sea más eficiente, se prosiguió a hallar los valores de la razón de destrucción de exergía  $E_D$ , y de pérdida de exergía  $E_L$ , los cuales proporcionan la medida termodinámica de las ineficiencias del sistema, esto se realizo con las ecuaciones siguientes:

$$y_D = \frac{\dot{E}_D}{\dot{E}_{F,tot}} \quad (4.23)$$

$$y_D^* = \frac{\dot{E}_D}{\dot{E}_{D,tot}} \quad (4.24)$$

$$y_L = \frac{\dot{E}_L}{\dot{E}_{F,tot}} \quad (4.25)$$

$$y_L^* = \frac{\dot{E}_L}{\dot{E}_{L,tot}} \quad (4.26)$$

Los resultados de los valores hallados para los valores de  $\dot{E}_p, \dot{E}_F$ ,  $\dot{E}_D, \dot{E}_L, \varepsilon_{ex}, y_D, y_L, y_D^*$  y  $y_L^*$  están registrados en la tabla 9.

Por último, para la realización del Análisis Exergoeconómico, la empresa RAFAEL DEL CASTILLO & CIA. nos suministro la tarifa de energía eléctrica con un valor de 288,8

\$/Kwh, (valor establecido por ELECTRICARIBE S.A), el cual fue convertido a unidades de \$/KJ de la siguiente manera:

$$288,8 \frac{\$}{KW/h} \times \frac{1h}{3600s} = 0,0802 \frac{\$}{KW/s} = 0,0802 \frac{\$}{KJ}$$

Se prosiguió a multiplicar este resultado por los valores correspondientes a la exergía de alimentación, producto, perdidas y destruida, dados en unidad de KJ/K en base de un día (24h), para finalmente determinar los costos que representan estos recursos.

Los valores obtenidos están representados en la tabla 13.

**Tabla 13.** Resultados del Análisis exergetico en los volúmenes de control de la planta.

VOLUMEN DE CONTROL	ÉF	ÉP	ÉL	ÉD	ε <sub>ex</sub>	yD*	yL*	yD	yL
1ER. PLANSIFTER	733.689,425	138.177,048	60.091,237	245.951,554	66,477%	1,530%	23,916%	1,267%	0,310%
2DO. PLANSIFTER	228.398,196	37.853,943	2.509,222	185.222,798	18,904%	1,153%	0,999%	0,954%	0,013%
3ER. PLANSIFTER	231.330,155	23.542,480	5.188,446	200.721,378	13,232%	1,249%	2,065%	1,034%	0,027%
CEPILLADORA - 1	444.006,215	18.458,410	28,385	406.363,165	8,478%	2,529%	0,011%	2,094%	0,000%
VIBRO - 1	201.056,963	6.873,359	4.583,980	188.118,372	6,435%	1,171%	1,824%	0,969%	0,024%
CEPILLADORA - 2	397.769,978	13.822,518	9.244,283	371.587,670	6,582%	2,312%	3,679%	1,915%	0,048%
VIBRO - 2	193.755,924	7.610,670	5.538,199	178.004,776	8,129%	1,108%	2,204%	0,917%	0,029%
BANCO 1PBK	1.758.484,563	55.593,682	1.036,913	1.729.339,897	1,657%	10,761%	0,413%	8,911%	0,005%
BANCO C1	1.343.340,340	14.703,163	11.709,979	882.339,120	34,318%	5,490%	4,660%	4,546%	0,060%
BANCO C2	735.321,946	7.532,043	12.970,340	713.619,292	2,951%	4,440%	5,162%	3,677%	0,067%
BANCO C3	722.915,855	5.207,207	9.300,914	585.969,275	18,944%	3,646%	3,702%	3,019%	0,048%
BANCO C4	383.968,855	6.441,359	2.737,557	240.897,024	37,261%	1,499%	1,090%	1,241%	0,014%
BANCO C5	169.488,886	1.545,524	3.037,410	164.583,092	2,894%	1,024%	1,209%	0,848%	0,016%
BANCO C6	203.800,398	4.842,003	953,926	53.983,287	73,512%	0,336%	0,380%	0,278%	0,005%
BANCO C7	410.459,978	6.283,060	4.111,965	302.300,429	26,351%	1,881%	1,637%	1,558%	0,021%
BANCO 2/3 BK	2.949.382,270	41.284,780	37.852,552	2.879.891,840	2,356%	17,920%	15,065%	14,839%	0,195%
BANCO C8	292.560,812	3.571,807	4.719,769	284.237,533	2,845%	1,769%	1,878%	1,465%	0,024%
BANCO C9	276.204,456	2.480,457	4.467,231	269.230,079	2,525%	1,675%	1,778%	1,387%	0,023%



VOLUMEN DE CONTROL	ÉF	ÉP	ÉL	ÉD	ξex	yD*	yL*	yD	yL
BANCO C10	371.278,870	2.425,067	4.539,953	272.193,029	26,688%	1,694%	1,807%	1,403%	0,023%
BANCO 4BK	1.115.949,673	34.032,313	4.438,528	1.081.663,571	3,072%	6,731%	1,767%	5,574%	0,023%
BANCO 5BK	910.548,274	24.894,920	12.624,550	874.833,303	3,922%	5,444%	5,024%	4,508%	0,065%
BANCO C1aC1b	3.032.524,784	36.264,904	34.284,919	2.653.156,420	12,510%	16,509%	13,645%	13,671%	0,177%
BANCO SIZaSIZb	1.976.645,974	42.942,152	3.544,846	1.048.610,361	46,950%	6,525%	1,411%	5,403%	0,018%
SEPARADORA	90.624,942	25.752,283	6.005,293	53.748,575	40,691%	0,334%	2,390%	0,277%	0,031%
PULIDORA	233.594,407	21.225,470	5.740,151	204.257,552	12,559%	1,271%	2,285%	1,052%	0,030%

**Tabla 14.** Costos Exergoeconómicos del proceso.

VOLUMEN DE CONTROL	CE F (\$)	CE P (\$)	CE L (\$)	CE D (\$)
1ER. PLANSIFTER	58.858,196	11.084,870	4.820,653	19.730,780
2DO. PLANSIFTER	18.322,611	3.036,727	201,295	14.858,984
3ER. PLANSIFTER	18.557,819	1.888,630	416,229	16.102,315
CEPILLADORA – 1	35.619,165	1.480,775	2,277	32.599,356
VIBRO – 1	16.129,236	551,396	367,737	15.091,274
CEPILLADORA – 2	31.909,992	1.108,873	741,597	29.809,589
VIBRO - 2	15.543,531	610,545	444,287	14.279,939
BANCO 1PBK	141.069,539	4.459,849	83,183	138.731,490
BANCO C1	107.765,747	1.179,520	939,401	70.783,205
BANCO C2	58.989,161	604,237	1.040,510	57.248,125

<b>VOLUMEN DE CONTROL</b>	<b>CE F (\$)</b>	<b>CE P (\$)</b>	<b>CE L (\$)</b>	<b>CE D (\$)</b>
BANCO C3	57.993,916	417,734	746,140	47.007,757
BANCO C4	30.802,835	516,740	219,613	19.325,295
BANCO C5	13.596,775	123,985	243,668	13.203,221
BANCO C6	16.349,321	388,436	76,526	4.330,659
BANCO C7	32.928,012	504,041	329,871	24.251,212
BANCO 2/3 BK	236.606,000	3.311,957	3.036,616	231.031,323
BANCO C8	23.469,878	286,538	378,630	22.802,167
BANCO C9	22.157,735	198,988	358,371	21.598,235
BANCO C10	29.784,816	194,544	364,205	21.835,930
BANCO 4BK	89.523,963	2.730,148	356,069	86.773,455
BANCO 5BK	73.046,206	1.997,126	1.012,769	70.181,072
BANCO C1aC1b	243.275,877	2.909,251	2.750,412	212.842,104
BANCO SIZaSIZb	158.570,933	3.444,915	284,375	84.121,853
SEPARADORA	7.270,134	2.065,905	481,758	4.311,830
PULIDORA	18.739,462	1.702,754	460,488	16.385,995
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>1.556.880,861</b>	<b>46.798,486</b>	<b>20.156,680</b>	<b>1.289.237,165</b>

## **10. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En este capítulo, se presentan en forma de diagramas los resultados del análisis exergético de la planta productora de harina en estudio, que se encuentran resumidos en la tabla 13.

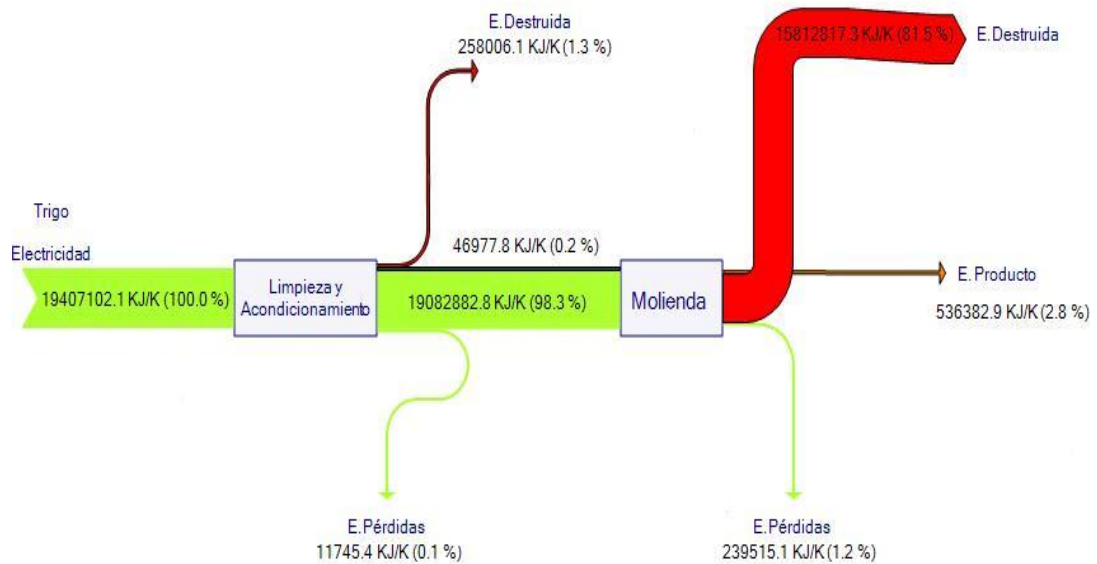
El análisis de resultados, se estructura en tres secciones. En la primera sección, se muestra la distribución de la exergía de entrada durante el proceso, en la segunda sección se presenta la magnitud de la pérdida y destrucción de exergía en cada etapa, se hacen observaciones respecto de la naturaleza de las irreversibilidades, y en la última sección, se denotan observaciones acerca de la eficiencia exergética de los volúmenes de control en el proceso analizado.

Al final de esta sección se analizarán los resultados del análisis exergoeconómico.

### **Distribución de la exergía de entrada durante el proceso**

La forma como la exergía de entrada al sistema se distribuye a través del proceso se muestra esquemáticamente en el Diagrama de Sankey, éste se construyó a partir de los valores de la exergía fuel o de la alimentación, (corresponde a la materia prima, es decir, el trigo que se alimenta al proceso y el trabajo generado por los motores mediante la energía eléctrica suministrada), la exergía perdida y la destrucción de exergía en cada etapa.

**Gráfica 1.** Diagrama de Sankey de la exergía de entrada.



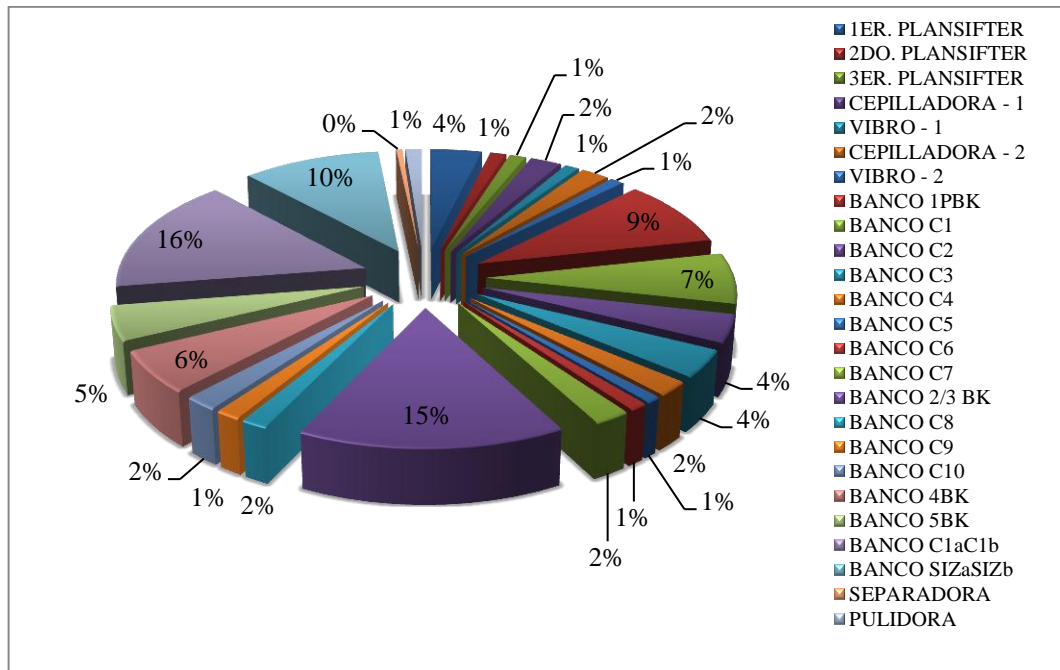
A partir de una cuidadosa observación del Diagrama de Sankey se puede notar que en la primera etapa del proceso, un 0,061% se pierde en forma de calor cedido al ambiente, se destruye 1,329%, sale en el producto un 0,242% y se dirige a la siguiente etapa un 98,329% con respecto a la exergía total de entrada. De esta exergía, durante el proceso de molienda se pierde un 1,234% en forma de calor cedido al ambiente, se destruye 81,840% y en el producto 2,764%.

Luego, si se realiza un análisis más detallado de la distribución de la exergía fuel total que entra al proceso se pueden hacer las siguientes observaciones:

- El 1,67% de la exergía fuel o de entrada al proceso, corresponde a la exergía utilizada en la etapa de limpieza y acondicionamiento, un porcentaje mínimo, teniendo en cuenta que para el proceso en estudio, solamente se tomaron dos equipos como volumen de control, la pulidora y la separadora, siendo esta ultima la consumidora de mas exergía fuel, en comparación a la pulidora.

- El porcentaje de exergía fuel restante (98,32%), concierne a la etapa de molienda, donde se presenta mayor gasto energético, puesto que posee una gran cantidad de equipos que generan trabajo mecánico y calor.

**Gráfica 2.** Distribución de la Exergía fuel total en el proceso.



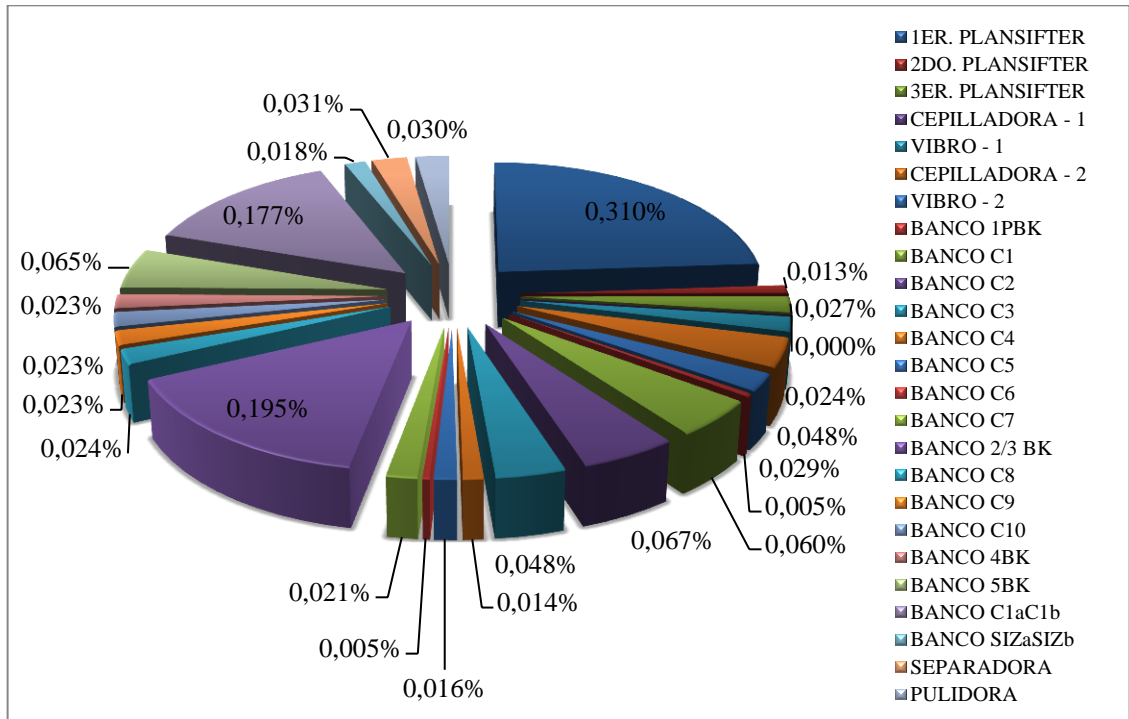
De la grafica anterior se puede ver la distribución de la exergía fuel total por volumen de control, en todo el proceso, siendo los más consumidores de exergía fuel en otras palabras, los sumideros de exergía son los bancos de molienda 1PBK con un 9%, 2/3BK con un 15%, C1aC1b con un 16%, SIZaSIZb con un 10% y C1 con un 7%, vale resaltar que estos son los bancos por los cuales empieza el proceso de molienda, por lo cual son los que requieren mayor electricidad para generar trabajo, pues son los encargados de triturar el grano de trigo y además por su capacidad, son los bancos donde entra mayor cantidad de materia prima.

### **Magnitud de las pérdidas y destrucción de exergía durante el proceso:**

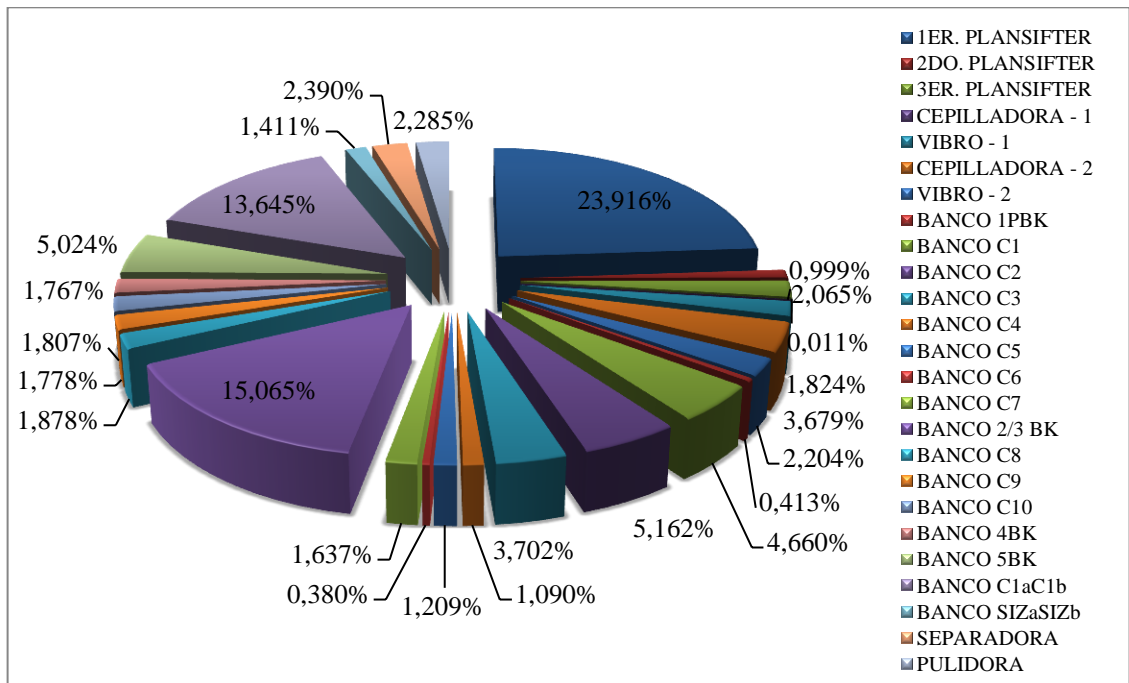
- A lo largo del proceso de producción ocurren pérdidas, las cuales se representan como energía térmica (calor cedido al ambiente) en las diferentes etapas del mismo, y el total de estas equivale a un 1,295% con respecto a la exergía fuel total del proceso.
- Durante la limpieza y acondicionamiento del trigo se genera un 4,675% de pérdidas en referencia con las pérdidas totales en el proceso, siendo la pulidora el equipo donde más se pierde exergía en esta etapa en comparación a la separadora, que es el otro volumen de control perteneciente a esta fase.
- En el transcurso del proceso de molienda se genera un 95,325% de exergía perdida, lo cual ratifica que los equipos constituyentes de esta etapa son los mayores generadores de calor cedido al ambiente.

A continuación se muestra a través de gráficas, los resultados obtenidos como fracciones de pérdidas para cada volumen de control, calculados a partir de las ecuaciones (4.25) y (4.26), y los cuales están registrados en la Tabla 13. del capítulo anterior.

**Gráfica 3.** Índice de Pérdidas ( $Y_L$ ).



**Gráfica 4.** Índice de Pérdidas ( $Y_L^*$ ).



Se puede ver con mayor claridad en las gráficas 3 y 4 cuales son los equipos donde están ocurriendo considerables pérdidas de exergía, estos son el primer plasisifter con 23.916%, y los bancos de molienda C1 con un 4.660%, C2 con un 5.162%, 2/3BK con un 15.065% y C1aC1b con un 13.645%, ya que el continuo cernido de los tamices, la vibración de los equipos y la fricción de los rodillos de trituración y compresión, generan calor al ambiente.

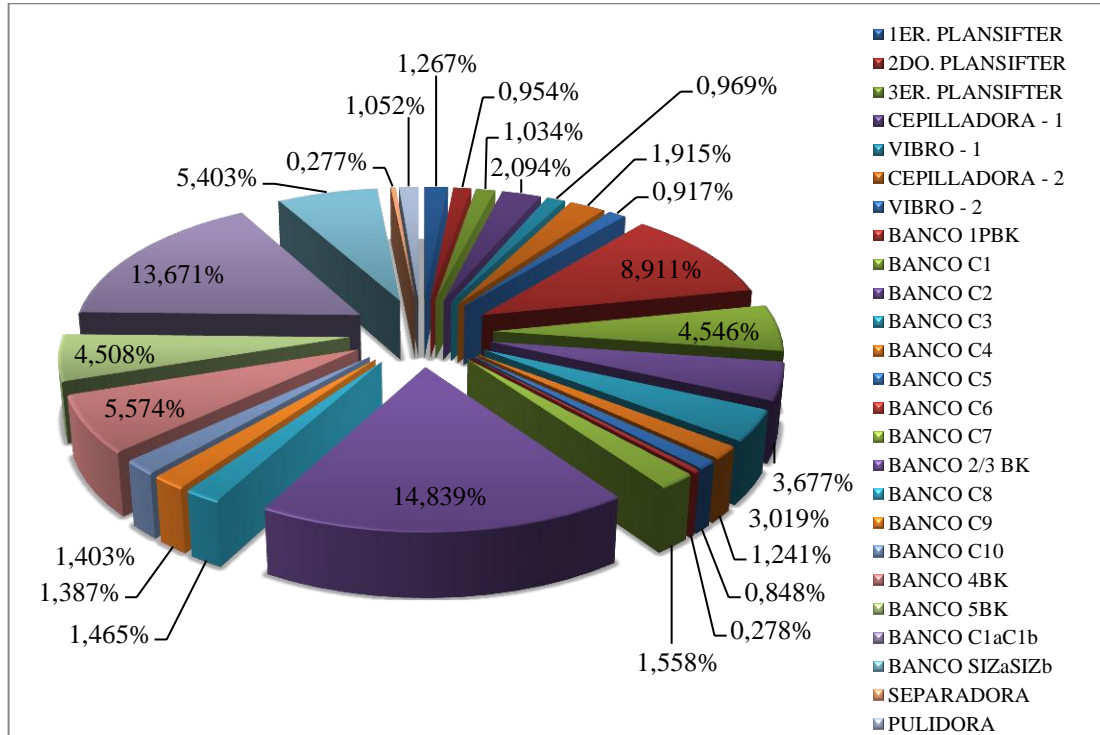
Simultáneamente que ocurren pérdidas de las cuales existe cierta posibilidad de recuperar, se efectúa destrucción de exergía, debido a las irreversibilidades en el proceso. Por lo tanto, entre mayor grado de irreversibilidad tenga el sistema, existirá una mayor tasa de destrucción de exergía, en este caso, ocurre un 82.809% de exergía destruida con respecto a la exergía total de entrada, del cual un 1.605% se genera en la fase de limpieza y acondicionamiento y el 98.395% de la exergía total que se destruye en el proceso lo aporta la fase de molienda.

Lo anterior, reconfirma que el proceso de limpieza y acondicionamiento tiene un alto grado de reversibilidad, puesto que el trigo una vez limpiado y humectado, puede volver a su estado inicial, añadiéndole las impurezas eliminadas y sometiénolo a un proceso de secado para retirarle el agua adicionada en la fase de acondicionamiento. Mientras que el proceso de molienda es 100% irreversible, una vez triturado y molido el trigo, este no puede volver a su estado inicial, condiciones que dan lugar a las irreversibilidades del proceso y que se traducen en un alto porcentaje de destrucción de exergía.

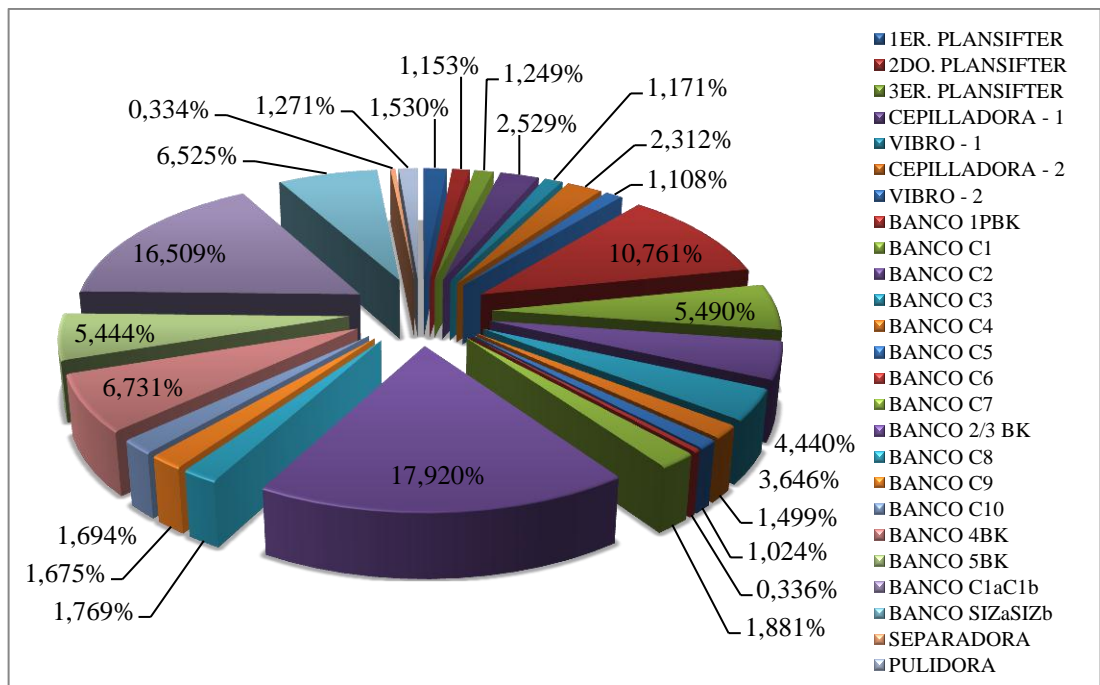
A continuación, se muestran a través de gráficas las fracciones de destrucción de exergía por volumen de control, calculadas mediante las ecuaciones (4.23) y (4.24), los valores obtenidos se registraron en la Tabla 13. del capítulo anterior.



**Gráfica 5.** Índice de Destrucción ( $Y_D$ ).



**Gráfica 6.** Índice de Destrucción ( $Y_D^*$ ).



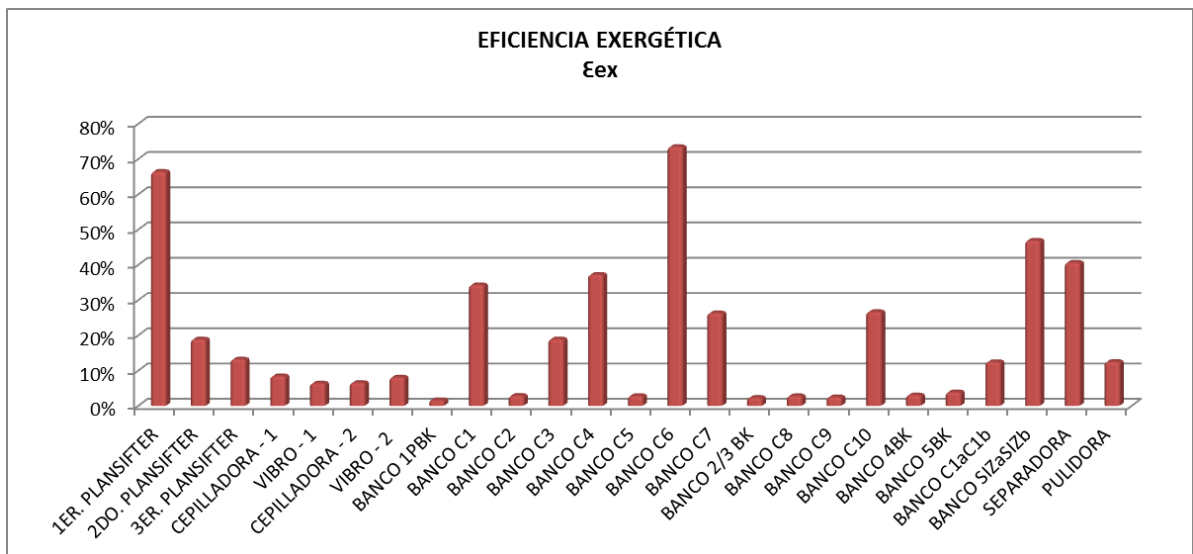
Según las gráficas 5 y 6, cabe resaltar que los equipos donde se destruye la mayor cantidad de exergía son los bancos de molienda 1PBK con 10.761%, C1 con 5.490%, 2/3BK con 17.920%, 4BK con un 6.731% y por último un 16.509% por parte del banco C1aC1b.

### Eficiencia exergética de los volúmenes de control

La eficiencia exergética global del proceso se calculó a partir de la ecuación (4.27), el resultado arrojó un valor de 15.896%, esto parámetro permitió medir las mejoras que se podrían introducir en el sistema en cuanto a la disminución de la exergía perdida como en el aprovechamiento de flujos de exergía recuperable dentro del propio proceso. La poca magnitud de este valor era de esperarse, puesto que la destrucción de exergía es inherente al proceso de molienda, por lo tanto sería difícil que la eficiencia exergética se incrementara un poco.

Por otro lado, se puede mostrar con más detalle las eficiencias exergéticas por equipo, (valores registrados en la Tabla 13 del capítulo anterior) mediante la siguiente grafica:

**Gráfica 7.** Eficiencia Exergética  $\epsilon_{ex}$ .



Los equipos con mayor eficiencia exergética fueron el primer plansifter con un 66.47%, el banco C4 con un 37.26%, el banco C6 con un 73.51%, SIZaSIZb con un valor de 46.95% y la separadora con un 40.69%, es decir, estos son los equipos donde se podría buscar una manera de disminuir el porcentaje de exergía perdida o aprovecharla, haciéndola recuperable para el proceso.

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis exergoeconómico, registrados en la Tabla 14, la destrucción de exergía tiene un costo de \$ 1.289.237,165, las pérdidas un costo de \$ 20.156,680, la alimentación o exergía fuel un costo de \$ 1.556.880,861 y el producto de \$ 46.798,486, todo esto en base a un tiempo de producción de 24 horas.

## 11. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El alto porcentaje de la exergía total que representan las irreversibilidades no permite proponer modificaciones de diseño que produzcan una mejora significativa en el rendimiento exergético de los equipos analizados, ya que el proceso (en específico la etapa de molienda) depende mucho más de las irreversibilidades inherentes al sistema que del calor disipado al ambiente.

Siempre es posible producir trabajo a partir de calor a una temperatura superior a la del entorno, a partir de esto, se podría utilizar el calor emanado por los diferentes volúmenes de control para calentar alguna corriente o proceso simultáneo de otro sistema. Sin embargo, la exergía asociada a las pérdidas de calor por disipación no resulta considerable si se tiene en cuenta la cantidad de energía que se pierde por este medio, la cual representa el 1.295% de la exergía total de entrada, además, sólo una pequeña porción se puede convertir en trabajo.

La exergía del proceso, o la exergía útil, representa apenas un 3% del gasto exergético total del sistema. Esta es la exergía utilizada para que el material de trabajo pase de las condiciones de entrada a las condiciones de operación dentro del proceso, durante las fases de limpieza, acondicionamiento y molienda.

El principal gasto exergético durante el proceso analizado es el que proviene de las irreversibilidades asociadas al sistema. Por esta razón, el rendimiento exergético del proceso, además de ser muy bajo, no es fácilmente modificable.

## **12. RECOMENDACIONES - ESTRATEGIA URE**

En la actualidad la industria está particularmente deseosa de mejorar su productividad a través del desarrollo de proyectos que le impliquen en forma rentable disminuir sus costos energéticos, lo cual está ligado con el objetivo general del presente proyecto, que busca proponer una estrategia de Uso Racional y Eficiente de Energía mediante el desarrollo del Análisis Exergético y Exergoeconómico.

Dado que los resultados obtenidos de este análisis revelaron que no son muchas las mejoras que se pueden hacer sobre el sistema estudiado, pues la energía que se pierde es de baja calidad (calor) y con poca probabilidad de convertir en una energía de alta calidad. Por esta razón, se vio la oportunidad de enfocar la estrategia URE hacia una propuesta de mejora en la utilización de la energía que se consume en el proceso, específicamente la destinada a alimentar los motores eléctricos, la cual según estudios realizados, representa aproximadamente el 80% de la energía total utilizada en el sector industrial (Quispe, 2003).

Los motores eléctricos, constituyen uno de los objetivos principales de cualquier programa de eficiencia energética, en este marco existen varias opciones que permiten lograr el URE en la aplicación de éstos.

Dentro del ahorro energético, se tienen medidas que requieren una nula o baja inversión, centradas en cambios de funcionamiento de los motores y en su mantenimiento, y medidas que requieren media o alta inversión y que implican la instalación de nuevos equipos en los sistemas de producción.

A continuación, se presentan propuestas para el Uso Racional y Eficiente de la Energía en la planta estudiada:

- **MEJORAR LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

Para mejorar la calidad de la potencia eléctrica entregada por la red, es necesario identificar la existencia de desbalances de voltaje, sobrevoltajes o caídas de tensión muy altas, lo cual afecta el funcionamiento del motor aumentando las pérdidas y disminuyendo su tiempo de vida. Es importante considerar los siguientes aspectos en cuanto a la calidad de la energía eléctrica de la red.

1. Mantener los niveles de voltaje.
2. Minimizar el desbalance de tensiones de fases, puesto que éste disminuye la eficiencia del motor.
3. Mantener un alto factor de potencia

- **ESTIMAR ADECUADAMENTE LA POTENCIA DEL MOTOR**

Uno de los primeros pasos para el URE en motores es que la potencia del motor eléctrico sea debidamente calculada de tal forma que el motor opere con una eficiencia y un factor de potencia adecuado. Si la potencia no es adecuadamente seleccionada el consumo energético del motor será excesivo, así sea de alta eficiencia.

- **REDUCIR LA CARGA SOBRE EL MOTOR**

Para mejorar la eficiencia del sistema accionado, primero se debe identificar si la carga puede ser reducida o incluso si el equipo es realmente necesario. Debe tenerse en cuenta que es muy poco lo que se puede hacer optimizando el motor y sus controles, si el equipo accionado y su proceso son ineficientes.

Muchas de las técnicas para reducir las cargas sobre el motor son económicas y dan un excelente punto de partida para mejorar la eficiencia del sistema y reducir el consumo de energía.

- **APLICAR MOTORES DE ALTA EFICIENCIA**

Es importante conocer las ventajas y limitaciones que tienen estos motores, lo cual dará elementos de juicios para su correcta aplicación.

### **1. Ventajas de los motores de alta eficiencia**

- Son normalmente más robustos y mejor contruidos que los motores estándar, lo que se traduce en menores gastos de mantenimiento y mayor tiempo de vida.
- Disminuyen los costos de operación del motor y se puede recuperar la inversión adicional en un tiempo razonable, sobre todo si se opera con una carga cercana a la potencia nominal.
- Los motores de alta eficiencia tienden a operar a una menor temperatura en los bobinados, esto aumenta su tiempo de vida.
- Los motores de alta eficiencia poseen por lo general mayor velocidad de operación que los motores de eficiencia estándar. La mayor velocidad puede ser ventajosa en muchos casos, pues mejora la ventilación.

### **2. Limitaciones**

- El trabajar a una velocidad mayor, puede ocasionar un incremento en la carga, sobre todo cuando se accionan ventiladores.
- La corriente de arranque suele ser mayor. Esto puede provocar que se sobrepasen los límites máximos de caída de voltaje en la red.
- El factor de potencia del motor puede ser menor que un motor estándar.

### **3. Aplicabilidad**

Pueden aplicarse favorablemente cuando:

- El motor opera a una carga constante y muy cerca del punto de operación nominal.
- Se usan para remplazar motores sobredimensionados.

- Se aplican conjuntamente con variadores electrónicos de frecuencia para accionar bombas y ventiladores.
- Existen instalaciones nuevas.

#### **4. Evaluación financiera:**

Para tomar la mejor decisión si es conveniente adquirir un motor estándar o un motor de alta eficiencia, es importante hacer una evaluación técnica y económica.

Cuando se tiene que decidir sobre el motor a seleccionar, se debe considerar que la energía consumida por el motor es un insumo a entender así como el precio inicial. Por eso cuando se comparan económicamente dos motores de la misma capacidad pero de diferente eficiencia nominal, entonces resulta necesario determinar los ahorros anuales generados por el uso del motor de mayor eficiencia.

Las eficiencias usadas para el cálculo deben corresponder con las del motor a las cargas específicas, debido a que la eficiencia varía con la carga, sobre todo cuando están por debajo del 50% de la nominal. Es necesario en cualquier caso conocer la diferencia de costos de la aplicación que es lo que se tiene que compensar al usar un motor de mayor eficiencia.

Si se toma como ejemplo el motor del banco de molienda C3, el cual es uno de los equipos que trabaja muy cerca de su carga nominal, por lo tanto consume gran cantidad de energía. Posee una potencia de placa de 20HP y una eficiencia de 87%. Luego el motor de alta eficiencia para la misma carga trabaja a 92%<sup>7</sup> de eficiencia con carga completa. (Los cálculos se están realizando suponiendo que el motor trabaja a carga completa).

El costo total de operación de cada motor se calculó a través de la siguiente ecuación<sup>8</sup>:

---

<sup>7</sup> Motores de Eficiencia Premium Super-E, Catalogo Motores BALDOR.

<sup>8</sup> “Una visión integral para el uso racional de la energía en la aplicación de motores eléctricos de inducción”, QUISPE, 2006, Pág. 56.



$$C_T = P_I + \frac{0.746 * HP * T_O * R}{E} \quad (12.1)$$

Donde:

$C_T$  = Costo total de operación (\$)

$P_I$  = Precio inicial (\$)

HP= Potencia del motor

$T_O$ = Tiempo de operación del motor (vida útil en horas)

R= Tarifa de la compañía suministradora (\$/Kwh)

E= Eficiencia del motor

*Para el motor estándar*

$$C_T = 833600 + \frac{0.746 * 20HP * 43800h * 288,8\$/Kwh}{0,87} = \$217\,764\,226,2$$

*Para el motor de alta eficiencia*

$$C_T = 917800 + \frac{0.746 * 20HP * 43800h * 288,8\$/Kwh}{0,92} = \$206\,058\,718,3$$

El ahorro de dinero al aplicar un motor de alta eficiencia se puede calcular usando la siguiente ecuación<sup>9</sup>:

$$S = 0.746 * HP * L * C * T * \left( \frac{1}{EF_A} - \frac{1}{EF_B} \right) \quad (12.2)$$

---

<sup>9</sup> Ibid., Pág. 56.

Donde:

S: Ahorro en pesos por año.

HP: Potencia de placa en HP.

L: Porcentaje de carga del motor respecto a la potencia nominal.

C: Costo de la energía en pesos por KWh.

T: Tiempo de funcionamiento del motor en horas por año.

E<sub>A</sub>: Eficiencia del motor estándar.

E<sub>B</sub>: Eficiencia del motor de alto rendimiento.

$$S = 0.746 * 20HP * 1 * \frac{288,8\$}{Kwh} * 7000 * \left( \frac{1}{0,87} - \frac{1}{0,92} \right) = \$ 1\ 884\ 199,9$$

El ahorro anual sería de \$ 1 884 199,9, luego el tiempo de recuperación es de:

$$\textit{Tiempo de recuperacion de la inversion inicial} = \frac{\textit{Diferencia de costos}}{\textit{Ahorro anual}} \quad (12.3)$$

$$\textit{Tiempo de recuperacion de la inversion inicial} = \frac{\$917800 - \$833600}{\$1\ 884\ 199,9}$$

$$\textit{Tiempo de recuperacion de la inversion inicial} = 0,04 \text{ años}$$

- **APLICAR CONTROLADORES ELECTRÓNICOS DE VELOCIDAD**

Es importante que el motor y el equipo operen en el punto óptimo, es decir que el motor consuma la energía necesaria para mover la carga y la velocidad de operación sea la que corresponda a su eficiencia máxima. Existen dos equipos electrónicos que pueden usarse para este fin: los troceadores de tensión y los variadores electrónicos de velocidad.

1. **Troceadores de tensión:** Estos equipos electrónicos al trocear la onda de tensión disminuyen el voltaje eficaz aplicado al motor cuando éste disminuye su carga; de tal forma que el motor opere con un factor de potencia constante, esto a su vez aumenta la eficiencia del motor. El uso de estos dispositivos es recomendable cuando la carga del motor varía desde vacío o desde una carga leve hasta plena carga, en equipos como bandas transportadoras, centrífugas, molinos de piedra.
2. **Variadores electrónicos de velocidad:** El punto óptimo de operación de los motores eléctricos por lo general se encuentra a una velocidad menor a la de placa y a una tensión menor a la nominal. Los variadores electrónicos de velocidad permiten que el motor trabaje muy cerca del punto óptimo de operación. Estos dispositivos permiten lograr considerables ahorros de energía en la operación de los motores eléctricos y otros beneficios adicionales, tales como prolongación de la vida útil de los equipos accionados por los motores, menor ruido, menos desgaste, mejor control y posibilidades de regeneración, en relación a los motores que no disponen de este dispositivo.

- **USAR MÉTODOS DE MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN ADECUADOS**

El mantenimiento tiene el objetivo de que la operación del motor sea confiable y elimine paradas imprevistas. Asimismo el proceso de reparación debe asegurar que la eficiencia del motor se mantenga o mejore y que el equipo no falle en la puesta en servicio.

1. **Reparación Eficiente:**

En las reparaciones es importante contar con programas de aseguramiento de calidad; que tenga una moderna infraestructura, gran organización, limpieza y una calibración frecuente de los equipos. Los motores deben ser rebobinados usando técnicas que permitan mantener o mejorar la eficiencia del motor reparado.

## **2. Reemplazar o Reparar:**

Cuando un motor falla y debe ser reparado es importante determinar si es conveniente repararlo o reemplazarlo por uno de alta eficiencia. Es válido considerar que la eficiencia del motor cae en cada reparación, si ésta es inadecuada, entonces al reemplazarlo por uno de alta eficiencia la diferencia es considerable. En estos casos (Campbell, 1997) recomienda tener en cuenta los siguientes factores:

- La condición y la edad del motor.
- Historia de la operación del motor y los rebobinados.
- El tipo del motor y de la aplicación.
- El potencial ahorro de energía que puede lograrse.

### 13. CONCLUSIONES

El análisis exergético, es una herramienta apropiada para evaluar las pérdidas de capacidad de producción de trabajo útil (exergía perdida) en estos sistemas, complementando de manera adecuada con un análisis exergoeconómico, el cual ha permitido cuantificar las pérdidas de exergía y evaluar económicamente el daño causado por las mismas.

A partir del análisis exergético realizado en una de las plantas de producción de la industria RAFAEL DEL CASTILLO & CÍA con datos de operación, se identificó la locación y magnitud de los principales sumideros de exergía, al mismo tiempo la magnitud de las pérdidas y destrucción de la exergía, con el objetivo de tener una visión más completa de los puntos del sistema donde se deben dirigir los esfuerzos de mejoramiento del proceso.

Los bancos de molienda son los equipos que consumen mayor exergía, pues en éstos inicia el proceso de molienda, por lo cual son los que requieren mayor electricidad para generar trabajo. A su vez, los resultados obtenidos demostraron el alto porcentaje de irreversibilidades propias de este proceso, destruyendo gran parte de la exergía que se alimenta al sistema.

La exergía relacionada a las pérdidas de calor por disipación al ambiente, la cual es una forma de energía de baja calidad, posee un porcentaje muy pequeño en referencia a la exergía total del proceso, por lo que no resulta ser una opción considerable tomarla para ser convertida en energía de alta calidad, expresado de otra manera, en trabajo.

La eficiencia exergética global del proceso arrojó un valor de 15.896%, la poca magnitud de este parámetro se debe al alto porcentaje de destrucción de exergía inherente al proceso de molienda, por lo cual se dificulta proponer modificaciones que conlleven a una mejora con respecto a la eficiencia del mismo.

No obstante, como la finalidad de este estudio es presentar una estrategia de Uso Racional y Eficiente de Energía, se sugirieron recomendaciones para implementar en el funcionamiento de los equipos de la planta analizada, cualquiera de ellas, garantizan un ahorro energético para la compañía, algunas requieren una inversión económica, que será recuperada en un tiempo previsto.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] RESTREPO, A. Caracterización y Posibilidades de Ahorro Energético en Generación de vapor- Estudio de caso. Universidad Tecnológica de Pereira. Scientia Et Technica. Octubre 2005.; Vol. XI. No. 28.
- [2] BOSCH, J., Modelo Termoeconómico de una Central Térmica de Ciclo Combinado [Tesis]. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana, Instituto de Energía y Termodinámica; 2007.
- [3] CARRILLO, *et al.*, Enfoque Exergético para la Optimización del Uso de la Energía en la Industria, Universidad Industrial de Santander (UIS), Revista ION, Vol. 20, No. 1, 2007.
- [4] ORELLANA, *et al.*, Análisis Exergético de Bienes de Equipo, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona, 2009.
- [5] ROQUE, P., RODRIGUEZ, O., Consideraciones teóricas sobre el análisis termoeconómico de la extracción de sacarosa en un escenario sucroenergético, UCLV, Centro Azúcar 3, 2001.
- [6] VALERO, *et al.*, Application of Thermoeconomics to Industrial Ecology, Center of Research for Energy Resources and Consumption, Universidad de Zaragoza, Spain, Journal Entropy, 2010.
- [7] GORDILLO, I., Análisis de Exergía en dos puntos críticos en una industria productora de Harina de Pescado, Universidad de Puerto Rico, 2005.
- [8] HUSEYIN, H., *et al.*, Comparative energetic and exergetic performance analyses for coal-fired thermal power plants in Turkey, International Journal of Thermal Sciences 48, Yildiz Technical University, Turkey, 2009.
- [9] ABUSOGLU, A., KANOGLU, M., Exergetic and thermoeconomic analyses of diesel engine powered cogeneration: Part 1- Formulations, Applied Thermal Engineering 29, University of Gaziantep, Turkey, 2009.

- [10] ABUSOGLU, A., KANOGLU, M., Exergetic and thermoeconomic analyses of diesel engine powered cogeneration: Part 2 –Application, Applied Thermal Engineering 29, University of Gaziantep, Turkey, 2009.
- [11] CORNELIESSEN, *et al.*, The value of the Exergetic life cycle assessment besides the LCA, Energy Conversion and Management, Netherlands, 2002.
- [12] LOMBARDI, L., Life cycle assessment (LCA) and Exergetic life cycle assessment (ELCA) of the production of biodiesel from used cooking oil (UCO), Energy Conversion and Management, Italy, 2001.
- [13] HAYRIYE, *et al.*, Exergetic performance analysis of ohmic cooking process, Journal of food Engineering, Izmir, Turkey, 2010.
- [14] DIETRICH, *et al.*, Hierarchically structured Exergetic and exergoeconomic analysis and evaluation of energy conversion processes, Energy Conversion and Management, Halle, Germany, 2004.
- [15] KALETUNC, G., Prediction of specific heat of cereal flours: A quantitative empirical correlation, Journal of food Engineering, The Ohio State University, USA, 2007.
- [16] RODOREDA, R., Análisis exergético de una central termoeléctrica de ciclo de vapor, Tesis Licenciatura Física. Departamento de Física y Matemáticas, Escuela de Ciencias, Universidad de las Américas, Puebla.2005.
- [17] GARCIA, L., Ampliación de la sección de molienda y cernido de una fabrica de harina de trigo, Proyectos de fin de carrera de Ingeniería Química, Universidad de Cádiz, España, 2006.
- [18] BORJA, *et al.*, Análisis Exergético y Evaluación Termoeconómica de un ciclo combinado de generación de energía eléctrica, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Departamento de Ingeniería Química y Combustibles, 2003.
- [19] SALAZAR, F., Exergía en Procesos Homeostáticos, Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Landívar, Revista Electrónica No. 14, ISSN: 2076-3166, Págs. 65-78, 2009.



- [20] QUISPE, E. , Una visión integral para el uso racional de la energía en la aplicación de motores eléctricos de inducción, *El Hombre y la Máquina*, No. 20-21, Universidad Autónoma de Occidente , Págs. 52-59, Colombia, 2003.
- [21] GUALLAR, *et al.*, Estudio Termoeconómico de una planta simple de cogeneración. Disponible en internet: [http://teide.cps.unizar.es:8080/pub/publicir.nsf/codigos/0019/\\$FILE/cp0019.pdf](http://teide.cps.unizar.es:8080/pub/publicir.nsf/codigos/0019/$FILE/cp0019.pdf).
- [22] CAICEDO, O., *et al.* Tecnología de Co-Combustión Gas-Bagazo: Una Alternativa para El Incremento de la Eficiencia y la Reducción del Impacto Ambiental en los Ingenios Azucareros. Disponible en internet: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Docs/exitosos.pdf>
- [23] CAICEDO, O., *et al.* Ahorro de Energía en la Industria del Papel. Disponible en internet: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Procesos/ papel.pdf>
- [24] CAICEDO, O., *et al.* Ahorro de Energía en la Industria de Amoniaco. Disponible en internet: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Procesos /amoniaco.pdf>
- [25] CAICEDO, O., *et al.* Ahorro de Energía en la Industria del Petróleo. Disponible en internet: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Procesos /petroleo.pdf>
- [26] Consultoría para la recopilación de información, definición de lineamientos y prioridades como apoyo a la formulación del PROURE. Disponible en internet: <http://www.minminas.gov.co/minminas/energia>.
- [27] Sector Energético en Uruguay, Diagnóstico y Perspectivas. Disponible en internet: <http://www.carbosur.com.uy/archivos/Uso%20Racional%20y%20Eficiente.pdf>
- [28] Elaboración Industrial de la Harina de Trigo. Disponible en internet: [http://www.aaprotrigo.org/tecnologia/varios/elaboracion\\_industrial.htm](http://www.aaprotrigo.org/tecnologia/varios/elaboracion_industrial.htm)
- [29] Proceso de producción de la harina de trigo. Disponible en internet: <http://www.scribd.com/doc/17287279/Proceso-de-produccion-de-la-harina-de-trigo>.

# ANEXOS

## ANEXO 1. ANALIZADOR INFRARROJO CERCANO SPECTRASTAR 2400

**Figura 8.** Analizador infrarrojo cercano Spectrastar 2400



El SpectraStar 2400 Analizador Infrarrojo Cercano (NIRS) es el analizador multiparámetro más rápido y completo del mercado.

Aplicable a productos agrícolas, alimentos y productos industriales.

El SpectraStar 2400 posee una exactitud, precisión y estabilidad inmejorables.

- Utiliza Escala Única de Estandarización de Longitudes de Onda haciendo sencilla la transferencia de calibraciones.
- Sin mantenimiento y muy fácil de usar. Incorpora el sistema Windows como programa base y pantalla interactiva de gran tamaño.
- La Unidad Óptica esta optimizada para combinar la máxima energía de la lámpara con la vida media más larga posible. (10.000 horas).

Cuantifica componentes como: grasa, proteína, humedad, fibra, cenizas, carbohidratos, energía. El SpectraStar 2400 es flexible y se adapta a las necesidades de uso. Puede configurarse para el análisis de sólidos, mezclas y suspensiones.

El análisis por NIR es seguro, no requiere reactivos y no es necesario pesar la muestra. Puede suministrarse con cápsula giratoria (modelo 2400 D) o ventana superior de lectura

(modelo 2400 W). Ambas opciones proporcionan una gran superficie de medida reduciendo el tiempo de análisis, incorpora ordenador integrado para autocontrol.

Los usuarios pueden obtener aplicaciones a través de Gomensoro. Un equipo de expertos garantiza y certifica las calibraciones; de este modo, los resultados son siempre exactos. Con el sistema SpectraStar 2400 podrá tener a tiempo la decisión de conformidad, la inspección de materias primas, la formulación a mínimo costo, la monitorización del proceso, el control de calidad interno, etc. Mejorado con el programa InfoStar, cuenta con una excelente herramienta para generar, comprobar y validar calibraciones cumpliendo con las normativas más exigentes.

### **Espectro obtenido en serie de muestras para identificación:**

La aplicación de técnicas estadísticas establecidas (p. j. Biblioteca de espectros, PLS, PCR, MLR, PCA y modelos de grupo) para cada propósito analítico, permiten obtenerle las mejores predicciones en los proyectos cuantitativos y cualitativos.

### **Sobre la tecnología NIR:**

Diseñada como una técnica para la predicción de la composición química aplicada a una gran variedad de productos, el infrarrojo cercano NIR utiliza reflectancia difusa en un rango del espectro entre 1200 y 2400 nm, donde realiza las determinaciones. Cuando el haz de luz incide sobre la muestra, parte de esta energía es absorbida y el resto reflejada. El porcentaje de luz absorbida varía con la longitud de onda y la estructura química de la muestra. La porción de energía que interacciona con la muestra, puede ser determinada por comparación con la intensidad del haz original y la energía de la porción reflejada. Escanea una serie de muestras estándar con el propósito de obtener la correlación entre los diferentes niveles de constituyentes y la absorción de la radiación a una o más longitudes de onda. Un algoritmo de transformación y otros estadísticos, proporcionan la ecuación para cuantificar los diferentes constituyentes en muestras desconocidas.

## ANEXO 2. PINZA AMPERÍMETRICA KYORITSU DIGITAL CLAMP METER SNAP KEW 2017

**Figura 9.** Pinza amperimétrica kyoritsu digital clamp meter snapkew 2017



### **Características:**

- Mandíbulas en forma de gota para facilitar su uso en espacios reducidos y el cable de hacinamiento áreas.
- Diseñado para cumplir con las normas internacionalmente probadas de seguridad, como IEC61010-1, UL3111 y VDE0411.
- Tres funciones en una sola unidad, de corriente alterna, corriente alterna y resistencia.
- Resistencia de gama alta que proporciona prueba de continuidad audible.
- Respuesta de frecuencia de 40Hz a 1kHz en rangos de corriente alterna y de tensión.

## ANEXO 3. BANCO DE MOLIENDA DE CUATRO Y OCHO CILINDROS

### MDDP Y MDDQ

**Figura 10.** (a) Banco de molienda de cuatro cilindros MDDP y (b) Banco de molienda de ocho cilindros MDDQ.



(a)



(b)

#### DESCRIPCION GENERAL:

- El Banco de Molienda de cuatro y ocho cilindros MDDP / MDDQ se caracteriza por su diseño robusto, alta eficiencia de molienda, lo que se ve reflejado en sus resultados con un excelente saneamiento, y requiere un mantenimiento mínimo.
- La calidad de los bancos de rodillos es de importancia decisiva para la eficiencia de la planta en su conjunto. El banco MDDP de cuatro rodillos y el banco de MDDQ de ocho rodillos de Buhler crea las condiciones óptimas para una calidad excelente del producto y el rendimiento en el campo de la molienda de granos.
- En los molinos harineros, la máquina puede ser utilizada para la molienda de trigo y trigo sarraceno, trigo duro, el maíz, centeno, cebada, espelta, mijo y sorgo. El banco de molienda de ocho rodillos MDDQ también se utiliza en la industria cervecera.

- La regulación electrónica de los rodillos y la alimentación automática compensa las variaciones de velocidad de flujo de materiales, garantizando así que la alimentación sea coherente.
- La tecnología oscilante patentada para el módulo de alimentación permite que ésta sea libre de residuos y vaciado de acceso ideal para la limpieza.
- Bajo mantenimiento a través de un diseño eficiente.
- El sistema de la máquina de lubricación centralizada permite la lubricación rápida de todos los rodamientos.

#### **FICHA TECNICA:**

- **Especificaciones ambientales**

Temperatura durante el funcionamiento: 0... +50 °C

Temperatura en parada: -10 ... +60 °C

- **Datos de potencia y caudal de producto**

Potencias motrices

Pasadas de trituración: máximo 45 kW

Pasadas de reducción: máximo 22 kW

Número de revoluciones de los cilindros estriados y lisos (en función de la pasada)

Diámetro de cilindro 250: 380... 870 rpm

- **Transmisión del cilindro**

La transmisión del cilindro tiene lugar a través de correas dentadas. En función de la pasada puede haber instaladas las siguientes desmultiplicaciones.

**Importante:** La transmisión del cilindro permite un desgaste máximo de 14 mm en el diámetro de ambos cilindros trituradores.

- **Datos de consumo**

Consumo de aire comprimido  $V_n$ : aprox. 0,5 Nm<sup>3</sup>/h

Consumo de agua por 1 metro de longitud de cilindro: hasta 300 litros/h

- **Sonido transmitido por el aire**

**Tabla 15.** Valores medidos para MDDP (valores orientativos)

<b>Valores medidos</b>	
Nivel de potencia acústica <sup>1)</sup>	$L_w = 92$ dB (A)
Nivel de presión acústica equivalente en el entorno de la máquina	$L_{eq} = 75$ dB (A)
Medida de superficie de medición	$L_s = 18$ dB
Nivel de presión acústica permanente en el puesto de trabajo <sup>2)</sup>	$L_{eq} = 77$ dB (A)

Procedimiento de medición:

1) Intensidad del sonido basada en ISO 9614-3

2) según ISO-11201



**Tabla 16.** Valores medidos para MDDQ (valores orientativos)

Valores medidos		
Nivel de potencia acústica <sup>1)</sup>	$L_w = 89$	dB (A)
Nivel de presión acústica equivalente en el entorno de la máquina	$L_{eq} = 71$	dB (A)
Medida de superficie de medición	$L_s = 19$	dB
Nivel de presión acústica permanente en el puesto de trabajo <sup>2)</sup>	$L_{eq} = 73$	dB (A)
Procedimiento de medición:		
1) Intensidad del sonido basada en ISO 9614-3		
2) según ISO-11201		

- **Pesos**

**Tabla 17.** Banco de Molienda de cuatro cilindros MDDP

Diámetro de cilindro	Longitud de cilindro	Neto	Bruto		Volumen vía marítima
			Vía ferro-viaria	Vía marítima	
mm	mm	kg	kg	kg	m <sup>3</sup>
250	800	2.700	3.050	3.150	4,4
	1.000	3.000	3.350	3.450	5,0
	1.250	3.350	3.750	3.900	5,5

**Tabla 18.** Banco de Molienda de ocho cilindros MDDQ

Diámetro de cilindro	Longitud de cilindro	Neto	Bruto		Volumen vía marítima
			Vía ferro-viaria	Vía marítima	
mm	mm	kg	kg	kg	m <sup>3</sup>
250	800	4.500	4.800	5.000	7,8
	1.000	5.100	5.450	5.650	8,7
	1.250	5.800	6.200	6.450	9,9

## COMPONENTES PRINCIPALES

1. Entrada de producto para el control y como depósito del producto entrante.
  2. Montante de la máquina para el alojamiento de los módulos de alimentación y los bloques de cilindros.
  3. Módulo de alimentación para dosificación y distribución del producto entrante.
  4. Bloque de cilindros para la trituración del producto.
  5. Panelado y salida de producto.
  6. Mando de la máquina para detectar y regular la cantidad de producto que se va a moler.
  7. Vigilancia de parada de los cilindros de alimentación.
  8. Aspiración directa
  9. Transmisión de los cilindros trituradores mediante engranajes
- **Resorte de presión de gas:** En el panelado y en los módulos de alimentación se han montado resortes de presión de gas para facilitar el movimiento y la fijación en las posiciones finales. Los resortes de presión de gas están bajo una presión interior elevada. Los resortes de presión de gas no deben abrirse forzándose ni exponerse a temperaturas superiores a 100 °C.
  - **Aspiración:** La entrada de producto está unida a la salida de la tolva a través de un tubo que da lugar a la aspiración en la entrada. Para las pasadas de reducción se ha incorporado un sistema de canales debajo de los cilindros trituradores cuyo objetivo es aspirar el aire arrastrado antes de que se introduzca en la abertura entre los cilindros.

## **FUNCIONAMIENTO**

- **Alimentación:** Una celda báscula registra la cantidad de producto que afluye en la entrada. Los cilindros de alimentación se accionan en función de los datos almacenados en el mando de la máquina y de la señal de la celda báscula. La rendija de alimentación, ajustada al producto durante la puesta en servicio, garantiza una descarga segura.

Si falta producto en la entrada, los cilindros trituradores se desplazan automáticamente a la posición de desembrague.

- **Bloque de cilindros:** El movimiento relativo de los cilindros trituradores tiene el efecto de fragmentar, triturar y moler los cereales. El bloque de cilindros accionado por resorte está equipado con un dispositivo de seguridad frente a cuerpos extraños. Lleva integrados cilindros neumáticos para embragar y desembragar. El ajuste fino de la abertura entre los cilindros se realiza mediante volantes de mano (dos por cilindro).

Los cilindros trituradores están unidos mediante un dispositivo tensor. El dispositivo tensor está formado por una barra tensora que establece la conexión elástica entre las dos carcasas de cojinete a través de resortes de disco pretensados. Esta disposición garantiza que, en caso de pasar algún cuerpo extraño, no se produzcan daños graves en los cilindros trituradores.

## **SEGURIDAD:**

- **Uso conforme a lo previsto:** El molino de cuatro cilindros MDDP o el molino de ocho cilindros MDDQ ha sido diseñado única y exclusivamente para la trituración de cereales con una humedad del 10–17 %. La trituración de otros productos requiere una conformidad especial de Bühler AG y debe documentarse en la forma correspondiente.

## ANEXO 4. PLANSIFTER MPAP

**Figura 11.** Plansifter MPAP.



### DESCRIPCION GENERAL Y FUNCIONAMIENTO

- Plansifter PMAP posee se caracteriza por su gran capacidad de cernido, saneamiento, alta seguridad del producto y motor duradero. Se aplica para el tamizado eficiente y clasificación de materiales de molido grueso y harinoso en el trigo blando, trigo duro, centeno, el maíz (maíz), cebada, avena, arroz, soya y los molinos de trigo sarraceno.
- El Plansifter PMAP es también muy adecuado para el control de cribado en las instalaciones de almacenamiento de harina antes de ensacado en una cantidad mínima de espacio.
- Su dinámica de aceleración elevada aumenta la intensidad del movimiento de tamiz, en consecuencia, mejora el efecto de tamizado y asegura la obtención de los productos ideales, gracias a un diseño optimizado.

- Durante el tamizado y la clasificación, las particiones en el compartimiento de los canales de garantizar una actuación excelente sellado. Esto evita que el polvo del material saliente de vueltas para arriba, lo que garantiza alta seguridad del producto.
- Los marcos de tamiz se apilan con seguridad, ajustándose el uno al otro, por medio de un sistema de sellado inteligente, luego cuando las puertas están cerradas el proceso se mantiene libre de polvo garantizando una operación sin contaminación cruzada de los productos.
- Gracias a un patrón de flujo de materiales inteligentes, los canales de transporte de productos son fácilmente accesibles y fáciles de limpiar garantizando el saneamiento del PMAP
- El cernedor plano se utiliza en la industria molinera para clasificar todo tipo de productos de cereales molidos, pero también ha demostrado su eficacia en otros ámbitos de la técnica de clasificación en los que se requiere una separación exacta de productos a gran caudal.
- El cernedor plano es de oscilación libre y se acciona mediante un motor incorporado.
- El cernedor plano consta básicamente de los dos cajones de criba y la parte intermedia del accionamiento. Éstos están fabricados con elementos de bastidor de perfil de acero y van unidos mediante tornillos desmontables formando una unidad autoportante. En cada uno de los compartimientos del cajón de criba están los tamices apilados unos sobre otros según un esquema determinado y quedan sólidamente sujetos y estancos, desde arriba por un dispositivo de presión y, lateralmente, por la puerta que cierra el compartimiento.

## ESQUEMA DE BASTIDORES

Para cada cernedor plano se elabora un diagrama sinóptico y, para cada compartimiento de tamices o pila de tamices, un esquema de bastidores, de acuerdo con los requerimientos de clasificación y rendimiento. La identificación sirve para colocar la pila de tamices en la secuencia correcta y en el compartimiento correspondiente del Cernedor plano evitando intercambiarlos.

A estos documentos, denominados esquema del cernedor plano, se les adjudica a su vez un número que es idéntico al número de 8 dígitos de la máquina. En el esquema de bastidores se puede distinguir:

- Entrada de producto a través de 2 o 3 entradas
- Dirección de avance del producto dentro del bastidor de tamiz
- Desviación del producto fuera del bastidor de tamiz en los 4 canales de los cajones de criba
- Tipo de bastidor, bastidor de tamiz, cifra identificativa
- Altura del bastidor
- Enteladura de tamiz, limpiador
- Disposición de las salidas

**TIPOS DE BASTIDORES:** En el cernedor plano MPAP se utilizan 2 tipos de bastidores cuadrados distintos. La elección del bastidor de tamiz se determina en función de la carga del tamiz y de los esquemas de bastidores. Las medidas exteriores de los bastidores de tamiz son idénticas, la superficie neta de tamizado es diferente.

### **Bastidor normal**

- **Tipo N:** Con 3 canales en el bastidor, apropiado hasta para 7 clasificaciones por compartimiento de tamiz. Superficie neta de tamizado: 0,330 m<sup>2</sup>.

## Bastidor ancho

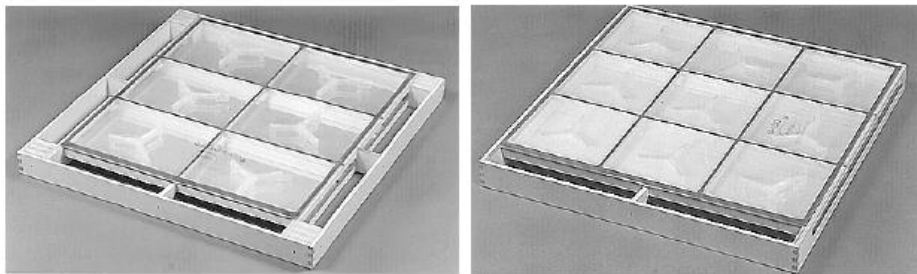
- **Tipo B:** Apropiado para altos rendimientos con 5 a 6 clasificaciones por compartimiento de tamiz. Superficie neta de tamizado: 0,404 m<sup>2</sup>.

Los dos tipos N y B se pueden utilizar combinados en un mismo compartimiento de tamices. Los bastidores principales tienen alturas diferentes adaptándose así a la carga de producto. Para aumentar la capacidad de absorción se atornillan adicionalmente bastidores intermedios con alturas de 20, 30 o 40 mm debajo de los bastidores principales. Existe una gran variedad en la ejecución de los bastidores principales en cuanto a transiciones, entradas y salidas a fin de posibilitar las diferentes conducciones de producto y clasificaciones en cada parte del tamiz normal.

Todos los bastidores de tamiz contienen bastidores intercambiables sueltos en los que va montado el tejido de tamiz. Los bastidores intercambiables de los tipos N y B tienen medidas diferentes. Medidas de corte para los tejidos de tamiz.

Los limpiadores circulan automáticamente manteniendo abiertas las mallas del tejido y limpiando, al mismo tiempo, el fondo colector que se encuentra debajo y las esquinas.

**Figura 12.** Tipos de Bastidores: (a) Tipo N y (b) Tipo B



(a)

(b)

## ENTELADURA DE TAMIZ

Los bastidores intercambiables se suministran generalmente con enteladura tensada y pegada, a excepción de los bastidores reserva. Se utilizan tejidos para los distintos trabajos de clasificación.

### *Molienda de trigo*

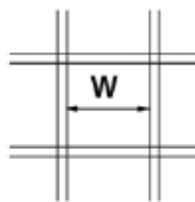
- Nilón de calidad MF: Para aberturas de malla de hasta 300 micras.
- Nilón de calidad FG: Para aberturas de malla de 212 – 850 micras.
- Alambre de acero inoxidable: Para aberturas de malla de 1,0 mm y superior.

### **Nota explicativa acerca de las enteladuras de tamiz**

- 60 – 950: Para enteladuras de tamiz de nilón y poliéster; los números corresponden a las aberturas interiores de malla  $W$  en  $\mu\text{m}$ .
- 0,1 – 10: Para enteladuras de tamiz de acero inoxidable; los números corresponden a las aberturas interiores de malla  $W$  en mm.

La abertura de malla del tamiz se indica en la parte posterior del bastidor intercambiable entelado.

**Figura 13.** Abertura de Malla del Tamiz.





## INFORMACIÓN TÉCNICA

**Tabla 19.** Datos técnicos Plansifter MPAP.

Tipo MPAP	Motor [kW]	Número de revoluciones del motor [rpm]		Número de revoluciones del cernedor plano [rpm]	Carrera del cernedor plano [mm]
		50 Hz	60 Hz		
4	5,5	950	1150	250	64
6	7,5				
8	11				

**Tabla 20.** Pesos y Dimensiones Plansifter MPAP.

Modelo	Dimensiones [mm] La x An x Al	Peso [kg]		
		Neto	Embalaje ferroviario	Embalaje marítimo
<b>4</b>				
Cajón de criba	2000x880x2500	900	1000	1200
Pieza motriz	2000x810x2620	1350	1400	1650
<b>6</b>				
Cajón de criba	2850x880x2500	1300	1400	1700
Pieza motriz	2850x810x2620	1650	1700	2100
<b>8</b>				
Cajón de criba	3710x880x2500	1700	1800	2200
Pieza motriz	3710x810x2620	1900	2000	2400

**Tabla 21.** Datos acústicos Plansifter MPAP.

<b>Valores medidos</b>	
Emisiones sonoras <sup>1)</sup>	$L_w = 88...90$ dB (A)
Nivel de presión acústica equivalente en el entorno de la máquina	$L_{eq} = 69...70$ dB (A)
Medida de superficie de medición	$L_s = 19...20$ dB
Nivel de presión acústica permanente en el puesto de trabajo <sup>2)</sup>	$L_{eq} = 70...72$ dB (A)

Procedimiento de medición:

- 1) Intensidad del sonido basada en ISO 9614-3  
 2) Según ISO 11201

<b>Condiciones de medición</b>	
Producto	Trigo, centeno, maíz, triturados, sémolas, harinas
Caudal	Según el programa del molino
Número de revoluciones	250 rpm
Limpiadores	Incl. limpiadores para tejido de tamiz y fondo colector

## ANEXO 5. VIBRO-TAMIZ O TURBO- CERNEDOR MKVA

**Figura 14.** Vibro MKVA.



### DESCRIPCION GENERAL Y FUNCIONAMIENTO

- El Vibro-Tamiz MKVA se caracteriza por tamizar combinando centrífugas y vibraciones, obteniendo un mayor rendimiento de harina y costos de mantenimiento bajos.
- Se utiliza en los productos difíciles de filtrar, materiales tales como harinas de salvado y harina de trigo. Por lo tanto, su campo de aplicación varía de trigo, trigo duro, maíz y centeno, así como en la molienda de avena, trigo sarraceno, cebada, espelta y mijo.
- Separación eficiente de partículas para producir harina de alta calidad.
- La rápida rotación del bastidor, en combinación con un tamiz vibratorio, garantiza la separación limpia de la harina. El rendimiento puede variar de hasta 0,8 t / h. Cuando el Vibro- tamiz MKVA se emplea como una unidad de acabado de salvado, el rendimiento puede ser tan alta como 2,5 t / h.

- La separación limpia de la harina ofrece una ventaja adicional: Prevenir el transporte de productos no deseados adheridos a la harina en el paso siguiente a seguir.
- La oscilación bien coordinada de la pantalla lleva a una excelente auto-limpieza de la tela de pernos, reduciendo significativamente la cantidad de mantenimiento necesario.

## ANEXO 6. CEPILLADORA DE SALVADO MKLA

Figura 15. Cepilladora de Salvado MKLA.



### DESCRIPCION GENERAL Y FUNCIONAMIENTO

- Se utiliza para aumentar el rendimiento en la producción de harina a través de la eliminación de partículas de ésta, adheridas al salvado.
- Posee facilidad de mantenimiento y máxima flexibilidad, gracias al diseño inteligente.
- Su aplicación abarca los molinos para el trigo blando, centeno, espelta, mijo, cebada, avena y trigo sarraceno.

- Uso de bastidores inclinados que dan a la corriente de material entrante un movimiento axial adicional, lo que garantiza la eliminación de las partículas de harina adheridas al salvado, un rendimiento máximo de hasta 1,8 t / h.
- El diseño general proporciona una fácil accesibilidad, simplificando los controles de funcionamiento y toma de muestras.
- El salvado de impacto MKLA acabado se ofrece en dos tamaños diferentes, lo que permite adaptarse para satisfacer las condiciones de espacio, teniendo en cuenta la capacidad de rendimiento.

## VENTAJAS

- Marcha suave y silenciosa.
- Construcción sencilla y compacta, con mando Individual.
- Bajo consumo de energía y desgaste intimo.
- Gracias a la vibración de la camisa cribadora, las perforaciones no se tapan.

## DATOS TÉCNICOS

Tabla 22. Datos técnicos Cepilladora de Salvado MKLA.

Modelo	Tamaño de la camisa en mm		Rotor batidor, rev. por minuto	Rendimiento en kg/h	Motor kW	Aire de aspiración m <sup>3</sup> /min	Peso aproximado en kg			Volumen con embalaje marítimo en m <sup>3</sup>
	Ø	Longit.					neto	bruto	marítimo	
MKLA-30/80	300	800	1300 -1500	~ 900	2,2	5	220	300	340	1,4
MKLA-45/110	450	1100	1000 -1100	900 -1800	5,5	7	320	450	500	2,3
MKLA-30/80 doble	2x300	2x 800	1300 -1500	2x ~ 900	2x2,2	10	430	510	580	2,5
MKLA-45/110 doble	2x450	2x1100	1000 -1100	2x900 -1800	2x5,5	14	620	730	840	4,4

## ANEXO 7. PULIDORA

Figura 16. Pulidora.



### FUNCIONAMIENTO

El cereal es conducido tangencialmente hacia el rotor especial horizontal. El intenso restregamiento del producto se da por efecto de:

- Nudos de rotor y del tejido de la envoltura del tamiz.
- Nudos fijos y móviles
- Estrías de transporte giratorias y fijas.

Con el dispositivo retardador a la salida de la máquina se puede interrumpir el efecto de restregado.

## APLICACIÓN

La máquina se utiliza preferentemente en instalaciones de limpia (primera y segunda limpieza) para el tratamiento superficial del trigo y centeno:

- Para extraer las impurezas sueltas o adheridas (polvo, arena, terrones, pequeñas semillas, etc).
- Para mejorar la higiene del producto reduciendo el porcentaje microbiano (bacterias) y la cantidad de insectos y fragmentos de insectos.

En general, la despuntadora horizontal se le puede colocar un canal de aspiración MVSG. Así, se separan limpiamente del cereal la parte de cascaras sueltas o la suciedad superficial.

## CARACTERISTICAS

- Efecto restregador ajustable con el dispositivo retardador.
- Construcción compacta para ahorrar espacio.
- Piezas muy resistentes al desgaste.
- La sencillez de manejo trae consigo el deseado ahorro de trabajo.

## DATOS TÉCNICOS

Tabla 23. Datos técnicos Despuntadora Horizontal.

Modelo	Capacidades en t/h	Dimensiones en mm		
		A	B	C
MHXS-30/60	hasta 15 t/h	1210	600	1505
MHXS-45/80	de 15 t/h a 30 t/h (máx.)	1480	800	1675



## ANEXO 8. CANAL DE ASPIRACION MVSG -100

**Figura 17.** Canal de Aspiración MVSG – 100



### APLICACIÓN

El canal de aspiración sirve para extraer específicamente productos finos en grano, como cereales de distintos tipos, legumbres, cacao en grano, etc. Según la ejecución, la máquina puede utilizarse aislada o en combinación con el separador.

### FUNCIONAMIENTO

Como máquina aislada la alimentación de producto tiene lugar por medio de un accionamiento excéntrico, mientras en la versión combinada con separador, la alimentación se produce directamente en el canal de aire. Distribuida homogéneamente sobre toda la

anchura de la máquina, la corriente de producto es aspirada por el aire circulante y clasificada según los pesos específicos. Las partículas ligeras acceden realmente a la zona de clasificación. Gracias a las óptimas posibilidades de ajuste de la pared posterior del canal de aspiración y a la consiguiente influencia de la velocidad del aire (cambio de la succión), se puede ajustar en todo momento el efecto sobre el producto que se aspira.

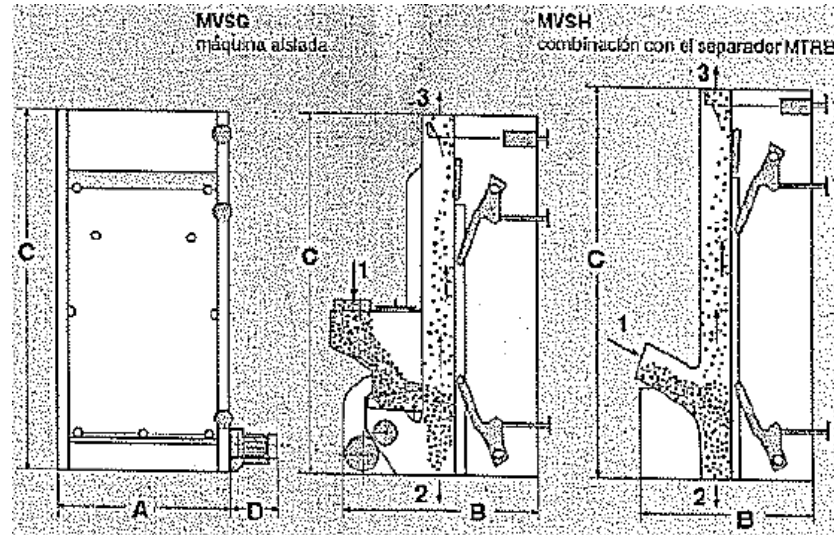
### **CARACTERISTICAS**

- Manejo sencillo
- Optimo efecto separador gracias al control selectivo de la conducción del aire
- Separación estable y fiable

### **CONSTRUCCIÓN**

Carcasa de construcción de acero con pared posterior ajustable, ejecutada con ventanilla de inspección, válvula de regulación de aire para ajustar la cantidad de aire, iluminación opcional, para un mejor control de las operaciones de ajuste.

## VERSIONES



1- Entrada del producto. 2- Salida del producto. 3- Toma de aspiración.

## DATOS TÉCNICOS

Tabla 24. Datos técnicos Canal de Aspiración.

Modelo	Capacidades en t/h*		Aspiración m <sup>3</sup> /min		Dimensiones en mm			
	Limpieza	Silo	Limpieza	Silo	A	B	C	D
MVSG-60	9	40	34	54	600	745	1450	275
MVSG-100	16	66	56	90	1000	745	1450	275
MVSG-150	24	100	84	135	1500	745	1450	275
MVSH-60	9	40	34	54	600	595	1650	
MVSH-100	16	66	56	90	1000	595	1650	
MVSH-150	24	100	84	135	1500	595	1650	

**ANEXO 9. MUESTREO DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LAS  
CORRIENTES Y TEMPERATURAS**

<b>CTE. DE ENTRADA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>TEMP. (°C)</b>	<b>% PROTEINA</b>	<b>% HUMEDAD</b>
C8	1	36,00	16,53	10,85
	2	36,00	16,71	10,87
	3	37,00	16,52	10,85
	4	36,50	16,45	10,93
	5	37,00	16,21	10,84
	<b>PROMEDIO</b>	<b>36,50</b>	<b>16,48</b>	<b>10,87</b>
C9	1	36,00	17,07	9,69
	2	36,50	17,09	9,56
	3	36,00	16,99	9,62
	4	37,00	17,24	9,48
	5	37,00	16,97	9,64
	<b>PROMEDIO</b>	<b>36,50</b>	<b>17,07</b>	<b>9,60</b>
C10	1	35,00	17,46	10,01
	2	36,00	17,72	9,85
	3	36,00	17,52	9,84
	4	37,00	17,26	9,98
	5	37,00	17,33	9,87
	<b>PROMEDIO</b>	<b>36,20</b>	<b>17,46</b>	<b>9,91</b>
DD-1	1	34,00	12,09	16,22
	2	35,00	12,17	16,32
	3	35,50	12,29	16,12
	4	34,00	11,20	16,34
	5	35,00	11,37	16,23
	<b>PROMEDIO</b>	<b>34,70</b>	<b>11,82</b>	<b>16,25</b>
CEP - 1	1	37,00	21,96	14,25
	2	37,00	20,98	14,63
	3	37,00	21,36	14,64
	4	37,00	21,70	14,24
	5	37,00	20,84	14,37
	<b>PROMEDIO</b>	<b>37,00</b>	<b>21,37</b>	<b>14,43</b>
CEP - 2	1	47,00	19,73	12,33
	2	47,00	19,78	12,28
	3	47,00	19,62	12,16
	4	47,00	19,42	12,16
	5	47,00	19,42	12,31
	<b>PROMEDIO</b>	<b>47,00</b>	<b>19,59</b>	<b>12,25</b>

CTE. DE ENTRADA	MUESTRA	TEMP. (°C)	% PROTEINA	% HUMEDAD
1SIZa	1	35,00	14,42	19,08
	2	36,00	14,26	20,15
	3	37,00	13,73	19,87
	4	37,00	13,26	19,53
	5	37,00	14,77	20,40
	<b>PROMEDIO</b>	<b>36,40</b>	<b>14,09</b>	<b>19,81</b>
1SIZb	1	41,00	12,54	18,47
	2	40,00	12,85	18,47
	3	40,00	12,47	18,18
	4	41,00	12,74	18,20
	5	41,00	13,02	18,47
	<b>PROMEDIO</b>	<b>40,60</b>	<b>12,72</b>	<b>18,36</b>
H1 ENTRADA	1	37,00	10,82	14,74
	2	37,00	10,86	14,60
	3	37,00	10,89	14,51
	4	37,00	10,80	14,63
	5	37,00	10,92	14,73
	<b>PROMEDIO</b>	<b>37,00</b>	<b>10,86</b>	<b>14,64</b>
VIBRO - 2	1	40,00	19,29	14,01
	2	37,00	19,10	13,98
	3	37,00	18,97	14,04
	4	37,00	19,57	14,71
	5	37,00	19,61	14,39
	<b>PROMEDIO</b>	<b>37,60</b>	<b>19,31</b>	<b>14,23</b>
VIBRO - 1	1	43,00	19,86	12,54
	2	43,00	19,91	12,42
	3	43,00	20,02	12,46
	4	43,00	20,03	12,45
	5	43,00	19,88	12,54
	<b>PROMEDIO</b>	<b>43,00</b>	<b>19,94</b>	<b>12,48</b>
TERCERA FINAL	1	36,00	19,37	9,57
	2	35,00	19,43	9,49
	3	36,00	19,31	9,51
	4	36,00	19,41	9,48
	5	35,00	19,39	9,60
	<b>PROMEDIO</b>	<b>35,60</b>	<b>19,38</b>	<b>9,53</b>

CTE. DE ENTRADA	CTE. DE SALIDA	MUESTRA	TEMP. (°C)	% PROTEINA	% HUMEDAD
5BK	CEP-1	1	35,00	21,82	13,75
		2	36,00	21,56	13,82
		3	35,50	20,55	13,77
		4	36,00	21,73	13,80
		5	35,50	20,98	13,81
		<b>PROMEDIO</b>	<b>35,60</b>	<b>21,328</b>	<b>13,79</b>
5BK	H1	1	32,00	16,18	13,48
		2	32,50	15,96	13,49
		3	34,50	15,93	13,39
		4	34,00	16,04	13,42
		5	34,50	16,00	13,46
		<b>PROMEDIO</b>	<b>33,50</b>	<b>16,022</b>	<b>13,45</b>
5BK	C6	1	32,00	18,28	13,47
		2	32,00	18,37	13,44
		3	33,00	18,27	13,42
		4	32,00	18,41	13,52
		5	32,50	18,52	13,44
		<b>PROMEDIO</b>	<b>32,30</b>	<b>18,37</b>	<b>13,46</b>
5BK	C7	1	33,00	20,27	13,98
		2	33,00	20,16	13,88
		3	33,00	20,88	13,67
		4	33,00	20,22	13,73
		5	33,00	20,62	13,97
		<b>PROMEDIO</b>	<b>33,00</b>	<b>20,43</b>	<b>13,85</b>
4BK	5BK	1	34,00	20,99	14,87
		2	35,00	20,83	14,92
		3	35,80	20,3	14,56
		4	35,00	20,14	14,69
		5	35,50	21,34	14,88
		<b>PROMEDIO</b>	<b>35,06</b>	<b>20,72</b>	<b>14,78</b>
4BK	C4	1	32,00	19,11	15,04
		2	32,00	19,19	14,97
		3	34,00	19,07	14,95
		4	34,00	19,08	14,97
		5	34,00	19,26	15,00
		<b>PROMEDIO</b>	<b>33,20</b>	<b>19,14</b>	<b>14,99</b>
4BK	C1a	1	31,50	16,08	14,65
		2	33,50	16,06	14,67
		3	34,00	15,84	14,69
		4	34,00	16,32	14,44
		5	34,00	16,58	14,81
		<b>PROMEDIO</b>	<b>33,40</b>	<b>16,17</b>	<b>14,65</b>

CTE. DE ENTRADA	CTE. DE SALIDA	MUESTRA	TEMP. (°C)	% PROTEINA	% HUMEDAD
4BK	H1	1	32,00	14,71	14,10
		2	33,20	14,76	14,09
		3	34,80	14,71	14,18
		4	34,00	14,62	13,90
		5	34,50	14,60	13,93
		<b>PROMEDIO</b>	<b>33,7</b>	<b>14,68</b>	<b>14,04</b>
2BK3BK	4BK	1	31,00	19,41	16,11
		2	31,00	20,05	16,04
		3	31,50	18,84	16,54
		4	31,50	20,67	15,68
		5	31,50	19,18	15,76
		<b>PROMEDIO</b>	<b>31,30</b>	<b>19,63</b>	<b>16,02</b>
2BK3BK	1Siza	1	31,00	17,77	17,66
		2	31,00	16,94	17,74
		3	31,50	17,73	17,37
		4	31,00	17,62	17,32
		5	31,50	18,11	17,27
		<b>PROMEDIO</b>	<b>31,20</b>	<b>17,63</b>	<b>17,47</b>
2BK3BK	1Sizb/C1a	1	31,00	14,60	17,89
		2	31,50	15,43	18,02
		3	32,00	15,58	18,06
		4	31,50	15,56	18,13
		5	33,00	14,88	18,29
		<b>PROMEDIO</b>	<b>31,80</b>	<b>15,21</b>	<b>18,07</b>
2BK3BK	DD-1	1	32,00	12,98	16,14
		2	33,00	12,93	16,23
		3	33,50	12,58	16,08
		4	33,00	12,27	15,95
		5	34,80	12,55	16,06
		<b>PROMEDIO</b>	<b>33,26</b>	<b>12,66</b>	<b>16,09</b>
2BK3BK	H1	1	31,50	12,79	14,83
		2	32,00	12,79	14,61
		3	32,00	12,97	14,55
		4	32,00	12,65	14,47
		5	33,00	12,65	14,56
		<b>PROMEDIO</b>	<b>32,10</b>	<b>12,77</b>	<b>14,60</b>
1PBK	2/3BK	1	32,00	15,34	17,15
		2	32,00	15,45	17,65
		3	32,00	15,27	17,77
		4	33,00	14,79	17,84
		5	32,00	14,98	17,44
		<b>PROMEDIO</b>	<b>32,20</b>	<b>15,16</b>	<b>17,57</b>

CTE. DE ENTRADA	CTE. DE SALIDA	MUESTRA	TEMP. (°C)	% PROTEINA	% HUMEDAD
1PBK	1Siza	1	31,50	14,22	18,72
		2	32,00	14,18	18,70
		3	32,00	14,15	18,66
		4	32,50	14,08	18,64
		5	32,50	14,09	18,63
		<b>PROMEDIO</b>	<b>32,10</b>	<b>14,14</b>	<b>18,67</b>
1PBK	1Sizb	1	32,00	12,35	17,44
		2	32,00	13,10	17,32
		3	32,50	12,92	17,69
		4	33,50	12,17	17,59
		5	33,50	12,17	17,62
		<b>PROMEDIO</b>	<b>32,70</b>	<b>12,54</b>	<b>17,53</b>
1PBK	DD-1	1	32,00	11,10	15,89
		2	33,00	11,46	15,96
		3	33,00	11,31	15,97
		4	32,50	11,21	15,85
		5	33,00	11,17	16,05
		<b>PROMEDIO</b>	<b>32,70</b>	<b>11,25</b>	<b>15,94</b>
1PBK	H1	1	31,50	11,06	14,42
		2	32,50	11,01	14,47
		3	33,20	11,29	14,41
		4	31,00	11,11	14,41
		5	32,50	11,05	14,56
		<b>PROMEDIO</b>	<b>32,14</b>	<b>11,10</b>	<b>14,45</b>
1Siza1Sizb	4BK/C4p	1	32,50	19,62	13,79
		2	33,00	19,67	13,94
		3	33,50	19,76	13,99
		4	33,00	19,70	13,68
		5	33,50	18,74	13,90
		<b>PROMEDIO</b>	<b>33,10</b>	<b>19,50</b>	<b>13,86</b>
1Siza1Sizb	C4p	1	33,50	16,51	14,05
		2	33,50	15,85	14,34
		3	34,20	16,18	14,20
		4	34,00	16,37	14,42
		5	34,50	16,51	14,14
		<b>PROMEDIO</b>	<b>33,94</b>	<b>16,28</b>	<b>14,23</b>
1Siza1Sizb	C1a	1	33,00	10,58	15,02
		2	34,80	10,88	14,85
		3	35,00	10,58	15,10
		4	34,00	10,66	14,98
		5	34,00	10,42	15,02
		<b>PROMEDIO</b>	<b>34,16</b>	<b>10,62</b>	<b>14,99</b>



CTE. DE ENTRADA	CTE. DE SALIDA	MUESTRA	TEMP. (°C)	% PROTEINA	% HUMEDAD
1Siza1Sizb	H1	1	33,00	9,69	14,31
		2	34,00	9,89	14,16
		3	34,50	10,13	14,05
		4	33,50	10,02	14,11
		5	34,00	9,87	14,14
		<b>PROMEDIO</b>	<b>33,80</b>	<b>9,92</b>	<b>14,154</b>
C1aC1b	C4p	1	35,50	17,99	12,26
		2	36,20	18,05	12,16
		3	37,00	18,64	12,12
		4	36,00	18,25	12,23
		5	37,00	18,15	12,11
		<b>PROMEDIO</b>	<b>36,34</b>	<b>18,21</b>	<b>12,17</b>
C1aC1b	C1	1	33,00	13,96	12,52
		2	34,50	13,58	12,61
		3	34,80	13,52	12,58
		4	33,80	13,76	12,66
		5	34,00	13,72	12,61
		<b>PROMEDIO</b>	<b>34,02</b>	<b>13,70</b>	<b>12,59</b>
C1aC1b	C2p-H1	1	32,50	9,93	13,18
		2	34,00	9,87	13,23
		3	34,80	10,26	13,19
		4	34,00	10,29	13,24
		5	34,50	9,83	13,23
		<b>PROMEDIO</b>	<b>33,96</b>	<b>10,03</b>	<b>13,21</b>
C1aC1b	H1	1	32,50	10,63	12,92
		2	33,00	10,71	13,11
		3	34,20	10,67	12,86
		4	33,00	10,8	12,91
		5	33,50	10,92	12,88
		<b>PROMEDIO</b>	<b>33,24</b>	<b>10,74</b>	<b>12,93</b>
C1aC1b	H1 (ELITE)	1	36,00	10,07	13,16
		2	37,50	10,05	13,08
		3	38,00	10,02	13,09
		4	37,00	10,15	13,03
		5	38,00	9,85	13,10
		<b>PROMEDIO</b>	<b>37,30</b>	<b>10,02</b>	<b>13,09</b>
C3	H1	1	34,00	11,51	12,58
		2	35,50	11,65	12,69
		3	35,80	11,65	12,57
		4	34,20	11,92	12,64
		5	35,50	11,91	12,68
		<b>PROMEDIO</b>	<b>35,00</b>	<b>11,72</b>	<b>12,63</b>

CTE. DE ENTRADA	CTE. DE SALIDA	MUESTRA	TEMP. (°C)	% PROTEINA	% HUMEDAD
C3	C4	1	34,00	17,48	12,06
		2	34,50	17,55	11,92
		3	36,00	17,46	12,01
		4	34,50	17,66	11,98
		5	36,00	17,12	11,96
		<b>PROMEDIO</b>	<b>35,00</b>	<b>17,45</b>	<b>11,99</b>
C3	C5	1	35,00	14,66	11,75
		2	36,00	14,60	11,94
		3	38,00	14,67	11,92
		4	36,00	14,40	12,00
		5	38,00	14,42	12,05
		<b>PROMEDIO</b>	<b>36,60</b>	<b>14,55</b>	<b>11,93</b>
C1	4BK	1	35,00	12,29	13,46
		2	35,50	12,49	13,37
		3	36,00	12,12	13,53
		4	35,50	12,33	13,38
		5	36,00	12,36	13,62
		<b>PROMEDIO</b>	<b>35,60</b>	<b>12,32</b>	<b>13,47</b>
C1	C4	1	34,00	13,53	12,64
		2	35,50	13,67	12,71
		3	36,00	13,63	12,63
		4	35,50	12,81	12,61
		5	36,00	12,67	12,59
		<b>PROMEDIO</b>	<b>35,40</b>	<b>13,26</b>	<b>12,64</b>
C1	C2	1	37,00	11,93	13,77
		2	38,00	12,05	13,72
		3	39,00	12,33	13,53
		4	38,00	11,88	13,52
		5	39,00	12,16	13,67
		<b>PROMEDIO</b>	<b>38,20</b>	<b>12,07</b>	<b>13,64</b>
C1	H1	1	37,00	10,76	13,67
		2	37,50	10,24	14,07
		3	38,00	10,92	13,59
		4	37,50	10,85	13,70
		5	38,00	11,51	13,88
		<b>PROMEDIO</b>	<b>37,60</b>	<b>10,86</b>	<b>13,78</b>
C1	C4	1	33,00	19,84	13,57
		2	34,50	19,14	13,76
		3	35,00	19,78	13,81
		4	34,50	19,96	13,73
		5	35,00	19,66	13,67
		<b>PROMEDIO</b>	<b>34,40</b>	<b>19,68</b>	<b>13,71</b>

CTE. DE ENTRADA	CTE. DE SALIDA	MUESTRA	TEMP. (°C)	% PROTEINA	% HUMEDAD
C1	H1	1	33,00	19,84	13,57
		2	34,00	19,14	13,76
		3	35,00	19,78	13,81
		4	34,00	19,96	13,73
		5	35,00	19,66	13,67
		<b>PROMEDIO</b>	<b>34,20</b>	<b>19,68</b>	<b>13,71</b>
C1	C2	1	34,00	16,47	13,29
		2	36,00	16,67	13,45
		3	36,50	16,45	13,30
		4	34,00	17,18	13,62
		5	36,00	17,32	13,44
		<b>PROMEDIO</b>	<b>35,30</b>	<b>16,82</b>	<b>13,42</b>
C1	4BK	1	33,00	21,67	13,78
		2	33,50	20,65	13,63
		3	34,00	20,35	13,67
		4	33,50	19,67	13,62
		5	34,00	19,89	13,15
		<b>PROMEDIO</b>	<b>33,60</b>	<b>20,45</b>	<b>13,57</b>
DD-1	C4	1	32,00	13,25	16,06
		2	33,00	13,21	15,93
		3	35,00	13,15	15,85
		4	33,00	13,14	15,87
		5	35,00	12,81	15,86
		<b>PROMEDIO</b>	<b>33,60</b>	<b>13,11</b>	<b>15,91</b>
DD-1	C1	1	32,00	13,67	16,23
		2	34,50	13,63	16,24
		3	35,00	13,64	16,19
		4	34,50	13,63	16,20
		5	35,00	13,56	16,17
		<b>PROMEDIO</b>	<b>34,20</b>	<b>13,63</b>	<b>16,21</b>
DD-1	C1b/C3	1	32,00	12,69	15,59
		2	33,50	12,98	15,78
		3	34,50	13,00	15,57
		4	34,00	13,50	15,58
		5	34,50	12,72	15,49
		<b>PROMEDIO</b>	<b>33,70</b>	<b>12,98</b>	<b>15,60</b>
DD-1	H1	1	33,00	11,59	14,54
		2	32,00	11,70	14,36
		3	34,00	11,62	14,41
		4	33,00	11,71	14,38
		5	34,00	11,63	14,36
		<b>PROMEDIO</b>	<b>33,20</b>	<b>11,65</b>	<b>14,41</b>

CTE. DE ENTRADA	CTE. DE SALIDA	MUESTRA	TEMP. (°C)	% PROTEINA	% HUMEDAD
C2	C4	1	35,50	16,70	12,37
		2	36,00	16,90	12,24
		3	38,00	16,62	12,30
		4	36,50	16,94	12,45
		5	38,00	16,76	12,42
		<b>PROMEDIO</b>	<b>36,80</b>	<b>16,78</b>	<b>12,36</b>
C2	C3	1	36,00	13,44	12,89
		2	38,00	13,72	12,94
		3	39,00	13,46	13,05
		4	38,00	13,50	12,73
		5	39,00	13,51	12,72
		<b>PROMEDIO</b>	<b>38,00</b>	<b>13,53</b>	<b>12,87</b>
C2	H1	1	36,50	10,89	13,30
		2	38,00	10,91	13,19
		3	38,50	11,01	13,32
		4	38,00	10,73	13,52
		5	38,50	10,77	13,20
		<b>PROMEDIO</b>	<b>37,90</b>	<b>10,86</b>	<b>13,31</b>
C5	C7	1	33,00	17,66	11,43
		2	34,00	17,29	11,50
		3	35,00	17,76	11,39
		4	34,00	17,63	11,41
		5	35,00	17,79	11,30
		<b>PROMEDIO</b>	<b>34,20</b>	<b>17,63</b>	<b>11,41</b>
C5	C6	1	34,00	15,57	11,78
		2	35,00	15,41	11,73
		3	36,00	15,91	11,72
		4	35,50	15,23	11,72
		5	36,00	15,69	11,69
		<b>PROMEDIO</b>	<b>35,30</b>	<b>15,56</b>	<b>11,73</b>
C5	H1	1	34,00	12,06	12,53
		2	34,00	12,07	12,47
		3	36,00	11,97	12,53
		4	35,00	11,84	12,33
		5	36,00	11,95	12,39
		<b>PROMEDIO</b>	<b>35,00</b>	<b>11,98</b>	<b>12,45</b>
C8	C10	1	36,00	19,24	10,13
		2	36,00	18,72	10,37
		3	36,50	18,97	10,33
		4	35,50	18,82	10,57
		5	36,00	18,97	10,43
		<b>PROMEDIO</b>	<b>36,00</b>	<b>18,94</b>	<b>10,37</b>

CTE. DE ENTRADA	CTE. DE SALIDA	MUESTRA	TEMP. (°C)	% PROTEINA	% HUMEDAD
C8	C9	1	35,00	17,88	10,34
		2	36,50	17,42	10,43
		3	37,00	17,71	10,36
		4	36,50	17,55	11,08
		5	37,00	18,01	11,05
		<b>PROMEDIO</b>	<b>36,40</b>	<b>17,71</b>	<b>10,65</b>
C8	H1	1	36,50	13,71	10,77
		2	36,00	13,68	10,81
		3	36,50	13,64	10,84
		4	36,00	13,54	11,01
		5	36,50	13,38	10,91
		<b>PROMEDIO</b>	<b>36,30</b>	<b>13,59</b>	<b>10,86</b>
C7	C10	1	37,00	17,79	10,55
		2	36,50	17,42	10,58
		3	37,00	17,17	10,55
		4	36,50	17,56	10,54
		5	37,00	17,51	10,47
		<b>PROMEDIO</b>	<b>36,80</b>	<b>17,49</b>	<b>10,53</b>
C7	C8	1	37,00	16,95	10,84
		2	36,00	17,01	10,87
		3	37,00	16,71	10,79
		4	36,00	16,43	11,03
		5	37,00	16,63	10,92
		<b>PROMEDIO</b>	<b>36,60</b>	<b>16,746</b>	<b>10,89</b>
C7	H1	1	37,00	12,67	11,66
		2	37,00	12,37	11,79
		3	37,00	12,66	11,63
		4	36,00	12,39	11,48
		5	37,00	12,18	11,57
		<b>PROMEDIO</b>	<b>36,80</b>	<b>12,45</b>	<b>11,62</b>
C4	C6	1	36,00	15,65	12,78
		2	37,00	15,16	12,9
		3	37,00	16,00	12,78
		4	36,50	15,42	12,83
		5	37,00	14,96	12,88
		<b>PROMEDIO</b>	<b>36,70</b>	<b>15,43</b>	<b>12,83</b>
C4	H1	1	37,00	11,73	13,28
		2	36,00	11,69	13,33
		3	36,00	11,53	13,41
		4	37,00	11,62	13,25
		5	36,00	11,46	13,24
		<b>PROMEDIO</b>	<b>36,40</b>	<b>11,60</b>	<b>13,30</b>

CTE. DE ENTRADA	CTE. DE SALIDA	MUESTRA	TEMP. (°C)	% PROTEINA	% HUMEDAD
C4	TURBO	1	36,00	19,62	12,47
		2	37,00	19,29	12,26
		3	37,00	19,65	12,38
		4	36,00	17,55	12,44
		5	37,00	18,01	12,42
		<b>PROMEDIO</b>	<b>36,60</b>	<b>18,82</b>	<b>12,39</b>
C6	C7	1	34,00	14,73	12,21
		2	35,00	14,52	12,30
		3	36,00	14,71	12,17
		4	35,00	14,47	12,14
		5	36,00	14,70	12,11
		<b>PROMEDIO</b>	<b>35,20</b>	<b>14,62</b>	<b>12,18</b>
C6	H1	1	35,00	12,73	12,81
		2	35,00	12,24	12,56
		3	35,50	12,40	12,6
		4	35,50	12,18	12,64
		5	35,00	12,20	12,59
		<b>PROMEDIO</b>	<b>35,20</b>	<b>12,35</b>	<b>12,64</b>
C9	H1	1	36,5	15,55	9,87
		2	36,00	15,54	9,83
		3	36,50	15,37	9,86
		4	36,00	15,50	9,94
		5	36,00	15,72	9,97
		<b>PROMEDIO</b>	<b>36,20</b>	<b>15,53</b>	<b>9,89</b>
C9	C10	1	35,50	17,97	9,40
		2	37,00	17,72	9,63
		3	37,00	17,84	9,49
		4	35,50	17,76	9,57
		5	37,00	17,66	9,55
		<b>PROMEDIO</b>	<b>36,40</b>	<b>17,79</b>	<b>9,52</b>
C9	TERCERA	1	36,00	18,72	8,97
		2	36,50	18,66	9,13
		3	36,50	19,12	9,03
		4	36,00	18,07	9,27
		5	36,50	18,79	9,45
		<b>PROMEDIO</b>	<b>36,30</b>	<b>18,67</b>	<b>9,17</b>
C10	TERCERA	1	36,50	17,95	9,55
		2	35,50	17,99	9,53
		3	36,50	17,99	9,59
		4	35,50	17,72	9,69
		5	36,50	17,76	9,72
		<b>PROMEDIO</b>	<b>36,10</b>	<b>17,88</b>	<b>9,61</b>

CTE. DE ENTRADA	CTE. DE SALIDA	MUESTRA	TEMP. (°C)	% PROTEINA	% HUMEDAD
C10	H1	1	36,00	15,22	9,79
		2	36,00	15,41	9,79
		3	36,00	15,12	9,98
		4	36,00	14,82	9,99
		5	36,00	14,90	9,90
		<b>PROMEDIO</b>	<b>36,00</b>	<b>15,09</b>	<b>9,89</b>
H1	H1 FINAL	1	35,50	11,66	13,8
		2	36,00	11,83	13,72
		3	35,50	11,63	14,01
		4	35,50	11,55	13,82
		5	36,00	11,53	14,09
		<b>PROMEDIO</b>	<b>35,70</b>	<b>11,64</b>	<b>13,88</b>
H1	ELITE FINAL	1	38,00	9,95	13,39
		2	40,00	10,07	13,64
		3	40,00	9,93	13,81
		4	40,00	10,37	13,07
		5	40,00	10,21	13,53
		<b>PROMEDIO</b>	<b>39,60</b>	<b>10,10</b>	<b>13,48</b>
VIBRO - 2	H1	1	37,00	16,58	12,75
		2	37,00	16,49	12,79
		3	37,00	16,72	12,82
		4	37,00	16,37	12,84
		5	37,00	16,35	12,83
		<b>PROMEDIO</b>	<b>37,00</b>	<b>16,50</b>	<b>12,80</b>
VIBRO - 2	TERCERA	1	42,00	21,32	13,54
		2	41,00	22,35	13,43
		3	41,00	21,47	13,32
		4	40,00	21,23	13,10
		5	40,00	21,45	13,30
		<b>PROMEDIO</b>	<b>40,80</b>	<b>21,56</b>	<b>13,33</b>
CEP-1	VIBRO-2	1	40,00	19,24	13,36
		2	40,00	19,32	13,16
		3	40,00	19,10	13,28
		4	40,00	19,44	13,03
		5	40,00	19,15	12,99
		<b>PROMEDIO</b>	<b>40,00</b>	<b>19,25</b>	<b>13,16</b>
CEP-1	SALVADO	1	41,00	22,56	14,09
		2	41,00	22,83	14,47
		3	41,00	23,94	14,11
		4	41,00	23,81	14,04
		5	41,00	23,74	13,96
		<b>PROMEDIO</b>	<b>41,00</b>	<b>23,37</b>	<b>14,13</b>

CTE. DE ENTRADA	CTE. DE SALIDA	MUESTRA	TEMP. (°C)	% PROTEINA	% HUMEDAD
VIBRO - 1	H1	1	39,00	16,85	11,97
		2	38,00	16,81	12,11
		3	38,00	16,88	11,91
		4	38,00	16,8	11,92
		5	38,00	16,67	12,21
		<b>PROMEDIO</b>	<b>38,20</b>	<b>16,80</b>	<b>12,02</b>
VIBRO - 1	TERCERA	1	42,00	20,19	12,13
		2	42,00	20,19	11,99
		3	42,00	19,95	12,16
		4	42,00	20,00	12,11
		5	42,00	20,21	11,98
		<b>PROMEDIO</b>	<b>42,00</b>	<b>20,11</b>	<b>12,074</b>
CEP-2	VIBRO-1	1	42,00	20,34	12,45
		2	42,00	19,51	12,41
		3	42,00	21,33	12,22
		4	43,00	19,50	12,35
		5	43,00	19,40	12,35
		<b>PROMEDIO</b>	<b>42,40</b>	<b>20,02</b>	<b>12,36</b>
CEP-2	SALVADO	1	38,00	20,94	12,25
		2	39,00	21,51	12,6
		3	40,00	21,68	12,35
		4	40,00	21,36	12,59
		5	40,00	22,06	12,35
		<b>PROMEDIO</b>	<b>39,40</b>	<b>21,51</b>	<b>12,43</b>

CTE. DE ENTRADA	CTE. DE SALIDA	MUESTRA	TEMP. (°C)	% PROTEINA	% HUMEDAD
SEPARADORA	IMPUREZAS	1	32,00	16,70	10,70
		2	32,00	17,10	10,80
		3	32,00	17,00	11,00
		4	32,00	17,60	11,20
		5	32,00	17,30	11,20
		<b>PROMEDIO</b>	<b>32,00</b>	<b>17,14</b>	<b>10,98</b>
PULIDORA	IMPUREZAS	1	32,00	17,30	11,00
		2	32,00	17,10	10,90
		3	32,00	17,60	10,80
		4	32,00	17,40	10,90
		5	32,00	16,90	11,10
		<b>PROMEDIO</b>	<b>32,00</b>	<b>17,26</b>	<b>10,94</b>



## ANEXO 10. PROPIEDADES TERMODINAMICAS DE LOS VOLUMENES DE CONTROL

- PLANSIFTER 1PBK - 1SIZaSIZb – C1aC1b

1PBK	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg °K)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	1PBK	1,980	4.095.041,585	0,058	0,259
SALIDA	2/3BK	1,992	2.082.065,235	0,048	0,170
	1SIZa	2,016	311.916,672	0,047	0,168
	1SIZb	1,977	542.937,432	0,050	0,193
	DD-1	1,923	160.239,982	0,049	0,188
	H1	1,874	233.434,947	0,044	0,158

2/3 PBK	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg °C)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	2/3 PBK	1,959	2.673.852,471	0,061	0,284
SALIDA	4BK	1,969	928.807,162	0,041	0,129
	1SIZa	1,998	87.988,173	0,041	0,127
	1SIZb - C1a	2,004	348.530,758	0,045	0,153
	DD-1	1,939	323.653,887	0,053	0,218
	H1	1,888	230.761,567	0,044	0,157

4 BK	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg °C)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	4 BK	1,956	1.750.562,078	0,077	0,453
SALIDA	5 BK	1,960	1.281.324,099	0,065	0,325
	C4	1,946	22.333,188	0,053	0,215
	C1a	1,919	34.810,060	0,053	0,223
	H1	1,892	106.687,121	0,054	0,236

5 BK	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg °C)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	5BK	1,935	1.382.624,132	0,070	0,383
SALIDA	CEP-1	1,937	1.147.677,149	0,068	0,357
	C7	1,918	15.909,344	0,051	0,202
	H1	1,881	53.334,657	0,053	0,224
	C6	1,889	59.582,283	0,046	0,166

1SIZa - 1SIZb	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg °C)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	1SIZa - 1SIZb	1,929	2.138.885,155	0,078	0,476
SALIDA	4BK - C4p	1,913	226.025,341	0,051	0,207
	C4p	1,910	192.630,378	0,056	0,251
	C1a	1,899	669.642,615	0,057	0,262
	H1	1,867	415.058,996	0,054	0,238

C1a C1b	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg °C)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	C1a C1b	1,880	1.452.355,978	0,095	0,723
SALIDA	C4p	1,872	89.871,755	0,070	0,394
	C1	1,844	67.532,079	0,055	0,247
	C2p - H1	1,840	647.179,320	0,054	0,243
	H1	1,831	4.172,272	0,050	0,205

- PLANSIFTER C3 – C1 – DD-1

C1	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg °C)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	C1	1,896	781.933,442	0,072	0,410
SALIDA	4BK	1,886	5.397,597	0,057	0,262
	C4	1,937	334,630	0,064	0,318
	C2	1,916	441.103,923	0,093	0,682
	H1	1,883	438.784,047	0,078	0,488
	H1	1,916	16.754,116	0,058	0,267

C2	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg °C)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	C2	1,870	366.465,039	0,077	0,484
SALIDA	C4	1,871	529,982	0,073	0,426
	C3	1,874	112.263,981	0,080	0,516
	H1	1,871	259.452,043	0,079	0,507

C3	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg °C)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	C3	1,841	276.926,061	0,070	0,398
SALIDA	C4	1,854	76.512,908	0,061	0,304
	C5	1,843	116.990,248	0,070	0,405
	H1	1,838	61.764,781	0,061	0,302

C5	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg °C)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	C5	1,829	97.065,087	0,059	0,282
SALIDA	C7	1,832	40.765,503	0,056	0,255
	C6	1,835	26.133,566	0,062	0,319
	H1	1,834	28.524,048	0,061	0,301

DD-1	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg °C)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	DD-1	1,947	585.977,665	0,062	0,301
SALIDA	C4	1,938	158.041,246	0,055	0,236
	C1	1,954	30.629,248	0,059	0,272
	C1b / C3	1,929	301.673,468	0,055	0,240
	H1	1,882	28.148,597	0,051	0,208

- PLANSIFTER C6 – C9 – C10

C4	LÍNEAS	Cp(kJ/kg °C)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	C4	1,881	334.067,729	0,073	0,428
SALIDA	VIBRO -2	1,884	15.735,858	0,072	0,414
	C6	1,877	205.069,042	0,072	0,420
	H1	1,866	104.681,371	0,070	0,397

C6	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg °C)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	C6	1,851	286.756,817	0,063	0,322
SALIDA	C7	1,843	212.493,651	0,062	0,314
	H1	1,844	61.736,457	0,062	0,314

C7	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg °C)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	C7	1,840	323.189,538	0,072	0,426
SALIDA	C10	1,818	44.486,916	0,071	0,414
	C8	1,824	191.911,165	0,070	0,401
	H1	1,822	60.914,568	0,071	0,414

C8	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg °C)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	C8	1,821	189.953,391	0,069	0,394
SALIDA	C10	1,817	47.008,724	0,066	0,360
	C9	1,821	133.514,222	0,068	0,387
	H1	1,802	488,602	0,067	0,376

C9	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg °C)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	C9	1,783	131.913,962	0,067	0,386
SALIDA	TERCERA	1,778	52.081,943	0,066	0,371
	C10	1,785	43.953,426	0,067	0,379
	H1	1,782	18.621,223	0,066	0,366

C10	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg °C)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	C10	1,794	132.336,681	0,066	0,368
SALIDA	TERCERA	1,787	34.612,659	0,065	0,360
	H1	1,778	56.430,749	0,064	0,352

- CEPILLADORAS

CEP - 1	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg °C)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	CEP-1	1,965	1.317.873,616	0,078	0,462
SALIDA	VIBRO- 2	1,930	412.043,593	0,095	0,705
	SALVADO	1,992	1.322.256,655	0,104	0,826

CEP - 2	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg °C)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	CEP-2	1,945	716.672,756	0,138	1,505
SALIDA	VIBRO-1	1,924	355.116,401	0,109	0,940
	SALVADO	1,918	164.392,808	0,090	0,646

- VIBROS

VIBRO - 1	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg °C)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	VIBRO - 1	1,981	378.206,988	0,116	1,035
SALIDA	H1	1,892	107.878,680	0,082	0,537
	TERCERA	1,955	177.897,650	0,101	0,791

VIBRO - 2	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg °C)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	VIBRO - 2	1,931	519.600,469	0,113	1,009
SALIDA	H1	1,862	278.892,538	0,073	0,438
	TERCERA	1,913	78.063,949	0,106	0,893

- BANCOS DE MOLIENDA

BANCO 1PBK	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg K)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	TRIGO HUMECTADO	1,819	2.113.313,127	0,030	0,075
SALIDA	1PBK	1,833	3.790.368,181	0,054	0,240

BANCO 4BK	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg K)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADAS	4BK	1,969	921.662,492	0,041	0,129
	4BK	1,886	5.397,597	0,057	0,262
SALIDA	4 BK	1,956	1.750.562,078	0,077	0,453

BANCO 5BK	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg K)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	5 BK	1,960	1.271.100,768	0,065	0,325
SALIDA	5BK	1,935	1.382.624,132	0,070	0,383

BANCO 2/3BK	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg K)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	2/3BK	1,992	2.082.065,235	0,048	0,170
SALIDA	2/3 PBK	1,959	2.673.852,471	0,061	0,284

BANCO C1aC1b	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg K)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADAS	C1a	1,919	34.810,060	0,053	0,223
	C1b / C3	1,929	159.496,253	0,055	0,240
	C1a	1,899	669.642,615	0,057	0,262
SALIDA	C1a C1b	1,880	1.452.355,978	0,095	0,723

BANCO SIZaSIZb	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg K)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADAS	1SIZa	2,016	311.916,672	0,047	0,168
	1SIZb	1,977	542.937,432	0,050	0,193
	1SIZa	1,998	87.988,173	0,041	0,127
	1SIZb - C1a	2,004	348.530,758	0,045	0,153
SALIDA	1SIZa - 1SIZb	1,929	2.138.885,155	0,078	0,476

BANCO C1	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg K)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADAS	C1	1,954	30.629,248	0,059	0,272
	4BK - C4p	1,913	226.025,341	0,051	0,207
	C4p	1,910	192.630,378	0,056	0,251
	C4p	1,872	89.871,755	0,070	0,394
	C1	1,844	67.532,079	0,055	0,247
SALIDA	C1	1,896	781.933,442	0,072	0,410

BANCO C2	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg K)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	C2	1,916	441.103,923	0,093	0,682
SALIDA	C2	1,870	366.465,039	0,077	0,484

BANCO C3	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg K)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADAS	C1b / C3	1,929	142.177,215	0,055	0,240
	C3	1,874	112.263,981	0,080	0,516
SALIDA	C3	1,841	276.926,061	0,070	0,398

BANCO C4	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg K)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADAS	C4	1,946	22.333,188	0,053	0,215
	C4	1,938	158.041,246	0,055	0,236
	C4	1,937	334,630	0,064	0,318
	C4	1,871	529,982	0,073	0,426
	C4	1,854	76.512,908	0,061	0,304
SALIDA	C4	1,881	334.067,729	0,073	0,428

BANCO C5	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg K)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	C5	1,843	116.990,248	0,070	0,405
SALIDA	C5	1,829	97.065,087	0,059	0,282

BANCO C6	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg K)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADAS	C6	1,889	59.582,283	0,046	0,166
	C6	1,877	205.069,042	0,072	0,420
	C6	1,835	26.133,566	0,062	0,319
SALIDA	C6	1,851	286.756,817	0,063	0,322

BANCO C7	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg K)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADAS	C7	1,918	15.909,344	0,051	0,202
	C7	1,832	40.765,503	0,056	0,255
	C7	1,843	212.493,651	0,062	0,314
SALIDA	C7	1,840	323.189,538	0,072	0,426

BANCO C8	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg K)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	C8	1,824	191.911,165	0,070	0,401
SALIDA	C8	1,821	189.953,391	0,069	0,394

BANCO C9	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg K)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	C9	1,821	133.514,222	0,068	0,387
SALIDA	C9	1,783	131.913,962	0,067	0,386

BANCO C10	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg K)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADAS	C10	1,818	44.486,916	0,071	0,414
	C10	1,817	47.008,724	0,066	0,360
	C10	1,785	43.953,426	0,067	0,379
SALIDA	C10	1,794	132.336,681	0,066	0,368

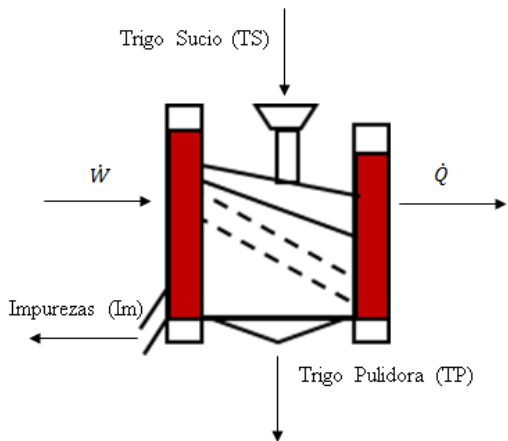
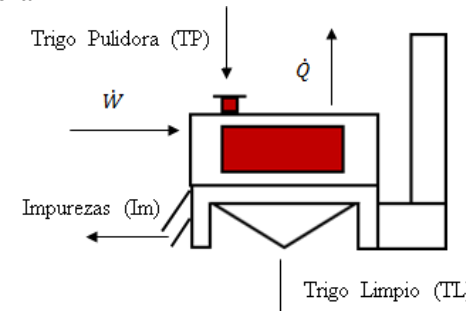
- SEPARADORA

SEPARADORA	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg K)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	TRIGO SUCIO	1,698	2.401.901,330	0,048	0,202
SALIDAS	PULIDORA	1,698	1.981.030,329	0,042	0,158
	IMPUREZAS	1,600	107.788,800	0,037	0,129

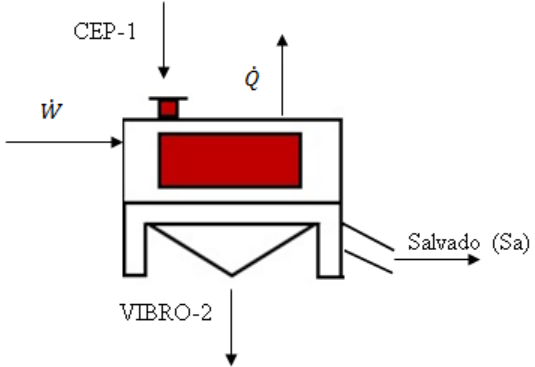
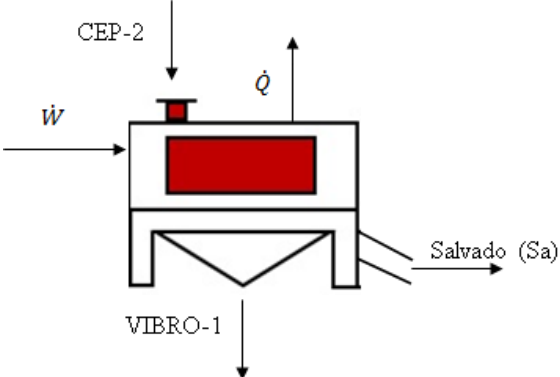
- PULIDORA

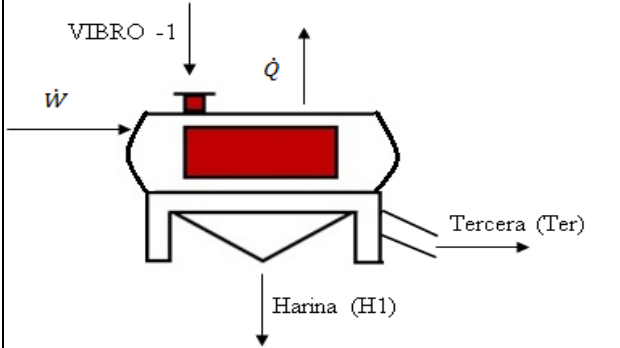
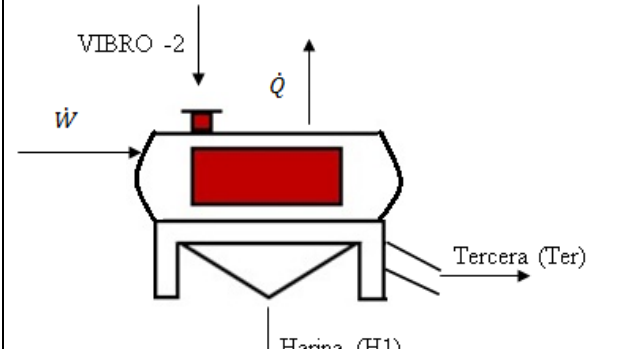
PULIDORA	LÍNEAS	Cp(KJ/Kg K)	H (KJ)	s (KJ/Kg*K)	e (KJ/Kg*K)
ENTRADA	PULIDORA	1,698	1.981.030,329	0,042	0,158
SALIDAS	TRIGO LIMPIO	1,698	1.815.225,116	0,039	0,137
	IMPUREZAS	1,600	21.127,680	0,037	0,129

**ANEXO 11. DIAGRAMAS Y BALANCES POR VOLUMENES DE CONTROL**

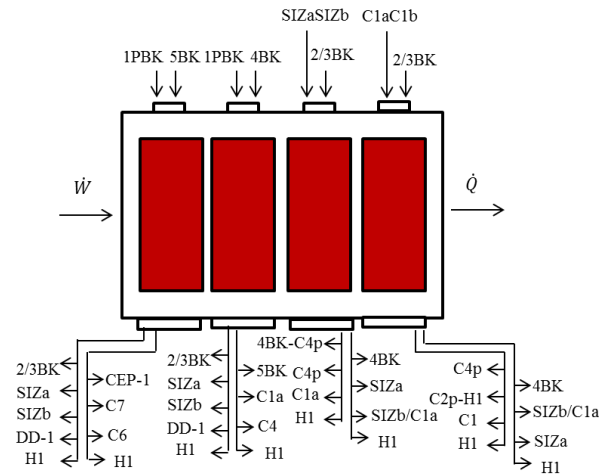
DIAGRAMA VOLUMEN DE CONTROL	BALANCES
<p><b>Separadora</b></p> 	$\dot{m}_{TS} = \dot{m}_{TP} + \dot{m}_{Im}$ $\dot{Q} = H_{TS} - [H_{TP} + H_{Im}] + \dot{W}$ $\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + \dot{E}_{TS} - [\dot{E}_{TP} + \dot{E}_{Im}]$
<p><b>Pulidora</b></p> 	$\dot{m}_{TP} = \dot{m}_{TL} + \dot{m}_{Im}$ $\dot{Q} = H_{TP} - [H_{TL} + H_{Im}] + \dot{W}$ $\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + \dot{E}_{TP} - [\dot{E}_{TL} + \dot{E}_{Im}]$



<p><b>Cepilladora 1</b></p> 	$\dot{m}_{CEP-1} = \dot{m}_{VIBRO-2} + \dot{m}_{Sa}$ $\dot{Q} = H_{CEP-1} - [H_{VIBRO-2} + H_{Sa}] + \dot{W}$ $\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + \dot{E}_{CEP-1} - [\dot{E}_{VIBRO-2} + \dot{E}_{Sa}]$
<p><b>Cepilladora 2</b></p> 	$\dot{m}_{CEP-2} = \dot{m}_{VIBRO-1} + \dot{m}_{Sa}$ $\dot{Q} = H_{CEP-2} - [H_{VIBRO-1} + H_{Sa}] + \dot{W}$ $\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + \dot{E}_{CEP-2} - [\dot{E}_{VIBRO-1} + \dot{E}_{Sa}]$

<p><b>Vibro-1</b></p> 	$\dot{m}_{VIBRO-1} = \dot{m}_{H1} + \dot{m}_{Ter}$ $\dot{Q} = H_{VIBRO-1} - [H_{H1} + H_{Ter}] + \dot{W}$ $\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + \dot{E}_{VIBRO-1} - [\dot{E}_{H1} + \dot{E}_{Ter}]$
<p><b>Vibro-2</b></p> 	$\dot{m}_{VIBRO-2} = \dot{m}_{H1} + \dot{m}_{Ter}$ $\dot{Q} = H_{VIBRO-2} - [H_{H1} + H_{Ter}] + \dot{W}$ $\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + \dot{E}_{VIBRO-2} - [\dot{E}_{H1} + \dot{E}_{Ter}]$

1er. Plansifter

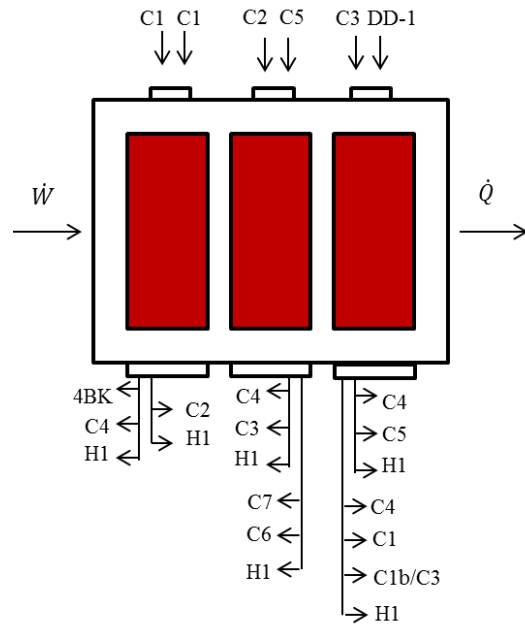


$$\begin{aligned}
 & \dot{m}_{1PBK} + \dot{m}_{5BK} + \dot{m}_{1PBK} + \dot{m}_{4BK} + \dot{m}_{SIZaSIZb} + \dot{m}_{2/3BK} + \dot{m}_{C1aC1b} + \dot{m}_{2/3BK} \\
 &= \sum \dot{m}_{2/3BK} + \sum \dot{m}_{SIZa} + \sum \dot{m}_{SIZb} + \sum \dot{m}_{DD-1} + \sum \dot{m}_{C1a} \\
 &+ \sum \dot{m}_{C4p} + \sum \dot{m}_{4BK} + \sum \dot{m}_{SIZb/C1a} + \sum \dot{m}_{H1} + \dot{m}_{CEP-1} + \dot{m}_{C7} \\
 &+ \dot{m}_{C6} + \dot{m}_{5BK} + \dot{m}_{C4} + \dot{m}_{4BK-C4p} + \dot{m}_{C2p-H1} + \dot{m}_{C1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{Q} = & [H_{1PBK} + H_{5BK} + H_{1PBK} + H_{4BK} + H_{SIZaSIZb} + H_{2/3BK} + H_{C1aC1b} + H_{2/3BK}] \\
 & - \left[ \sum H_{2/3BK} + \sum H_{SIZa} + \sum H_{SIZb} + \sum H_{DD-1} + \sum H_{C1a} \right. \\
 & + \sum H_{C4p} + \sum H_{4BK} + \sum \frac{H_{SIZb}}{C1a} + \sum H_{H1} + H_{CEP-1} + H_{C7} \\
 & \left. + H_{C6} + H_{5BK} + H_{C4} + H_{4BK-C4p} + H_{C2p-H1} + H_{C1} \right] + \dot{W}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{E}_D = & \left( 1 - \frac{T_o}{T_j} \right) \dot{Q} - \dot{W} \\
 & + \left[ \dot{E}_{1PBK} + \dot{E}_{5BK} + \dot{E}_{1PBK} + \dot{E}_{4BK} + \dot{E}_{SIZaSIZb} + \dot{E}_{\frac{2}{3BK}} + \dot{E}_{C1aC1b} \right. \\
 & \left. + \dot{E}_{\frac{2}{3BK}} \right] \\
 & - \left[ \sum \dot{E}_{\frac{2}{3BK}} + \sum \dot{E}_{SIZa} + \sum \dot{E}_{SIZb} + \sum \dot{E}_{DD-1} + \sum \dot{E}_{C1a} + \sum \dot{E}_{C4p} \right. \\
 & + \sum \dot{E}_{4BK} + \sum \dot{E}_{\frac{SIZb}{C1a}} + \sum \dot{E}_{H1} + \dot{E}_{CEP-1} + \dot{E}_{C7} + \dot{E}_{C6} + \dot{E}_{5BK} + \dot{E}_{C4} \\
 & \left. + \dot{E}_{4BK-C4p} + \dot{E}_{C2p-H1} + \dot{E}_{C1} \right]
 \end{aligned}$$

2do. Plansifter

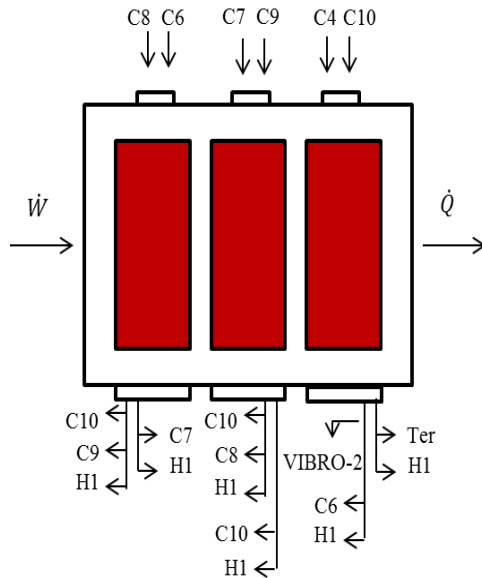


$$\dot{m}_{C1} + \dot{m}_{C1} + \dot{m}_{C2} + \dot{m}_{C5} + \dot{m}_{C3} + \dot{m}_{DD-1} = \sum \dot{m}_{4BK} + \sum \dot{m}_{C4} + \sum \dot{m}_{H1} + \dot{m}_{C3} + \dot{m}_{C7} + \dot{m}_{C6} + \dot{m}_{C5} + \dot{m}_{C1} + \dot{m}_{C1b/C3}$$

$$\dot{Q} = (H_{C1} + H_{C1} + H_{C2} + H_{C5} + H_{C3} + H_{DD-1}) - (\sum H_{4BK} + \sum H_{C4} + \sum H_{H1} + H_{C3} + H_{C7} + H_{C6} + H_{C5} + H_{C1} + H_{C1b/C3}) + \dot{W}$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_D = & \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + [\dot{E}_{C1} + \dot{E}_{C1} + \dot{E}_{C2} + \dot{E}_{C5} + \dot{E}_{C3} + \dot{E}_{DD-1}] \\ & - [(\sum \dot{E}_{4BK} + \sum \dot{E}_{C4} + \sum \dot{E}_{H1} + \dot{E}_{C3} + \dot{E}_{C7} + \dot{E}_{C6} + \dot{E}_{C5} + \dot{E}_{C1} \\ & + \dot{E}_{C1b/C3})] \end{aligned}$$

3er. Plansifter

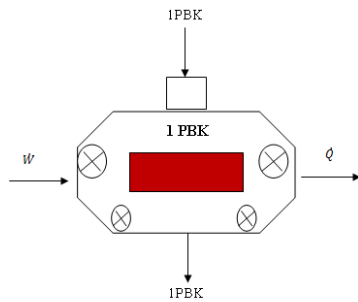


$$\dot{m}_{C8} + \dot{m}_{C6} + \dot{m}_{C7} + \dot{m}_{C9} + \dot{m}_{C4} + \dot{m}_{C10} = \sum \dot{m}_{C10} + \sum \dot{m}_{H1} + \dot{m}_{C9} + \dot{m}_{C7} + \dot{m}_{C6} + \dot{m}_{C8} + \dot{m}_{VIBRO-2} + \dot{m}_{Ter}$$

$$\dot{Q} = (H_{C8} + H_{C6} + H_{C7} + H_{C9} + H_{C4} + H_{C10}) - (\sum H_{C10} + \sum H_{H1} + H_{C9} + H_{C7} + H_{C8} + H_{VIBRO-2} + H_{C6} + H_{Ter}) + \dot{W}$$

$$\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + [\dot{E}_{C8} + \dot{E}_{C6} + \dot{E}_{C7} + \dot{E}_{C9} + \dot{E}_{C4} + \dot{E}_{C10}] - \left[\sum \dot{E}_{C10} + \sum \dot{E}_{H1} + \dot{E}_{C9} + \dot{E}_{C7} + \dot{E}_{C6} + \dot{E}_{C8} + \dot{E}_{VIBRO-2} + \dot{E}_{Ter}\right]$$

Banco

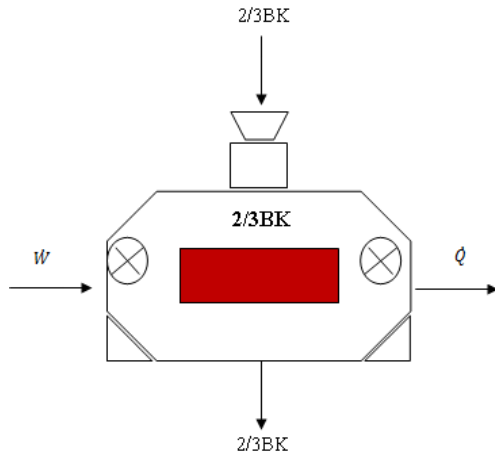


1PBK

$$\dot{m}_{1PBK} = \dot{m}_{1PBK}$$

$$\dot{Q} = (H_{1PBK}) - (H_{1PBK}) + \dot{W}$$

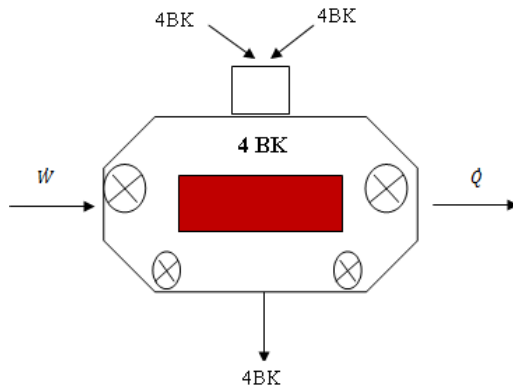
$$\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + (\dot{E}_{1PBK}) - (\dot{E}_{1PBK})$$

**Banco 2/3BK**

$$\dot{m}_{2/3BK} = \dot{m}_{2/3BK}$$

$$\dot{Q} = (H_{2/3BK}) - (H_{2/3BK}) + \dot{W}$$

$$\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + (\dot{E}_{2/3BK}) - (\dot{E}_{2/3BK})$$

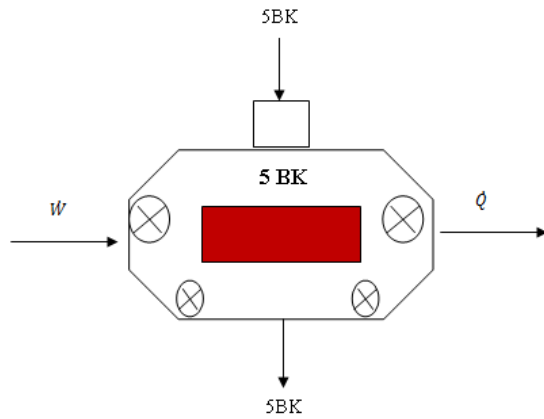
**Banco 4BK**

$$\dot{m}_{4BK} + \dot{m}_{4BK} = \dot{m}_{4BK}$$

$$\dot{Q} = (H_{4BK} + H_{4BK}) - (H_{4BK}) + \dot{W}$$

$$\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + (\dot{E}_{4BK} + \dot{E}_{4BK}) - (\dot{E}_{4BK})$$

**Banco 5BK**

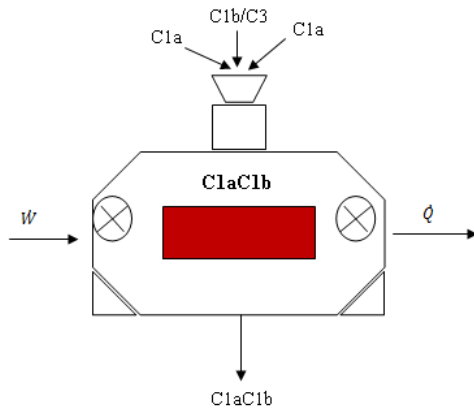


$$\dot{m}_{5BK} = \dot{m}_{5BK}$$

$$\dot{Q} = (H_{5BK}) - (H_{5BK}) + \dot{W}$$

$$\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + (\dot{E}_{5BK}) - (\dot{E}_{5BK})$$

**Banco C1aC1b**

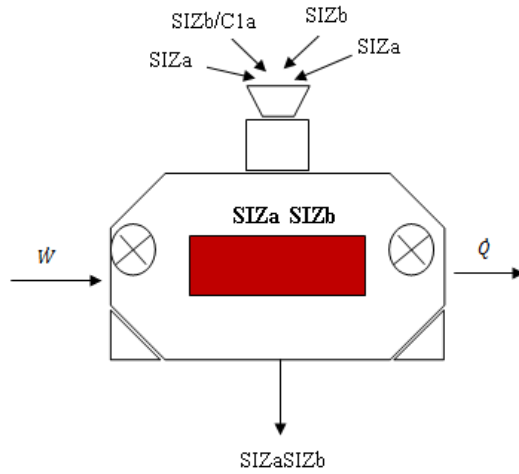


$$\dot{m}_{C1a} + \dot{m}_{C1b/C3} + \dot{m}_{C1a} = \dot{m}_{C1aC1b}$$

$$\dot{Q} = (H_{C1a} + H_{C1b/C3} + H_{C1a}) - (H_{C1aC1b}) + \dot{W}$$

$$\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + (\dot{E}_{C1a} + \dot{E}_{C1b/C3} + \dot{E}_{C1a}) - (\dot{E}_{C1aC1b})$$

**Banco SIZaSIZb**

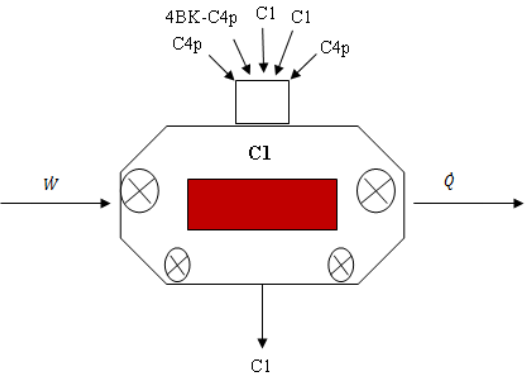
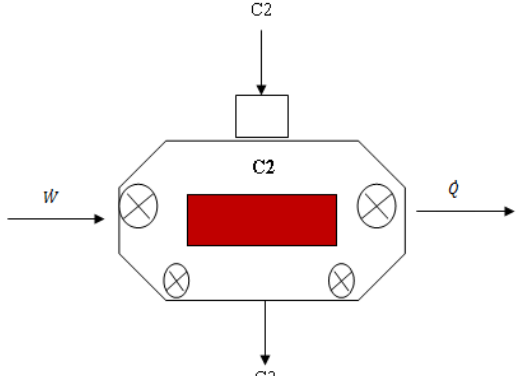


$$\dot{m}_{SIZa} + \dot{m}_{SIZb/C1a} + \dot{m}_{SIZb} + \dot{m}_{SIZa} = \dot{m}_{SIZaSIZb}$$

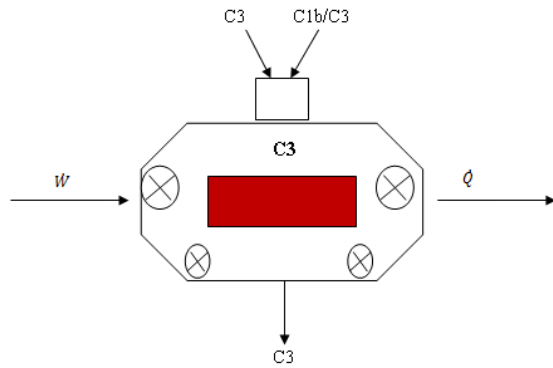
$$\dot{Q} = (H_{SIZa} + H_{SIZb/C1a} + H_{SIZb} + H_{SIZa}) - (H_{SIZaSIZb}) + \dot{W}$$

$$\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + (\dot{E}_{SIZa} + \dot{E}_{SIZb/C1a} + \dot{E}_{SIZb} + \dot{E}_{SIZa}) - (\dot{E}_{SIZaSIZb})$$



<p><b>Banco C1</b></p> 	$\dot{m}_{C4p} + \dot{m}_{4BK-C4p} + \dot{m}_{C1} + \dot{m}_{C1} + \dot{m}_{C4p} = \dot{m}_{C1}$ $\dot{Q} = (H_{C4p} + H_{4BK-C4p} + H_{C1} + H_{C1} + H_{C4p}) - (H_{C1}) + \dot{W}$ $\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + (\dot{E}_{C4p} + \dot{E}_{4BK-C4p} + \dot{E}_{C1} + \dot{E}_{C1} + \dot{E}_{C4p}) - (\dot{E}_{C1})$
<p><b>Banco C2</b></p> 	$\dot{m}_{C2} = \dot{m}_{C2}$ $\dot{Q} = (H_{C2}) - (H_{C2}) + \dot{W}$ $\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + (\dot{E}_{C2}) - (\dot{E}_{C2})$

**Banco C3**

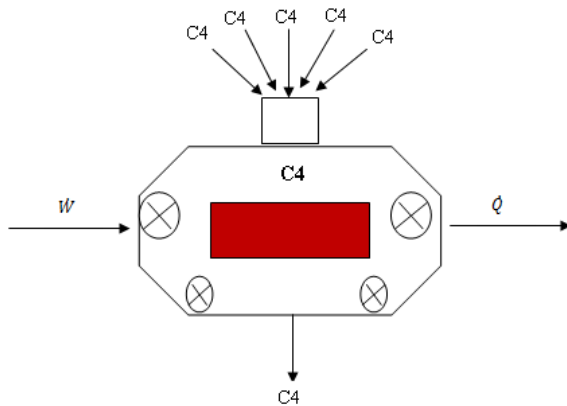


$$\dot{m}_{C3} + \dot{m}_{C1b/C3} = \dot{m}_{C3}$$

$$\dot{Q} = (H_{C3} + H_{C1b/C3}) - (H_{C3}) + \dot{W}$$

$$\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + (\dot{E}_{C3} + \dot{E}_{C1b/C3}) - (\dot{E}_{C3})$$

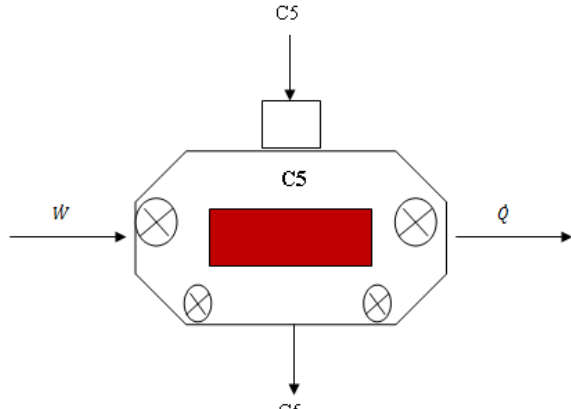
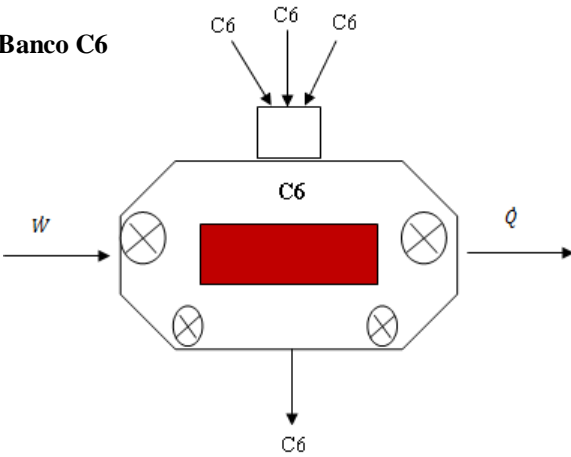
**Banco C4**

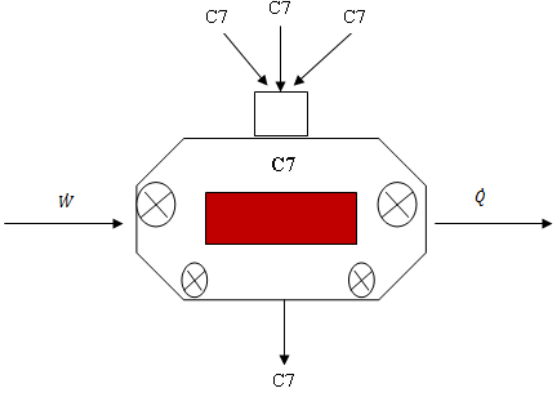
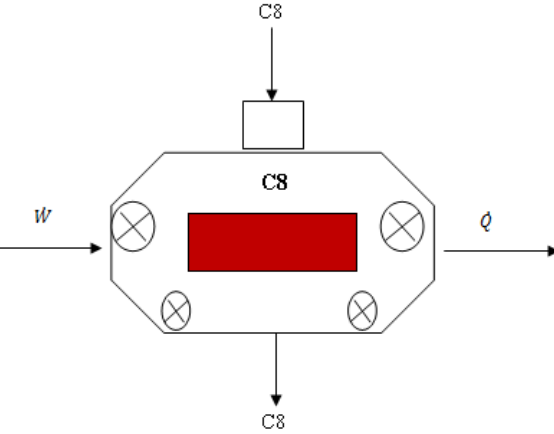


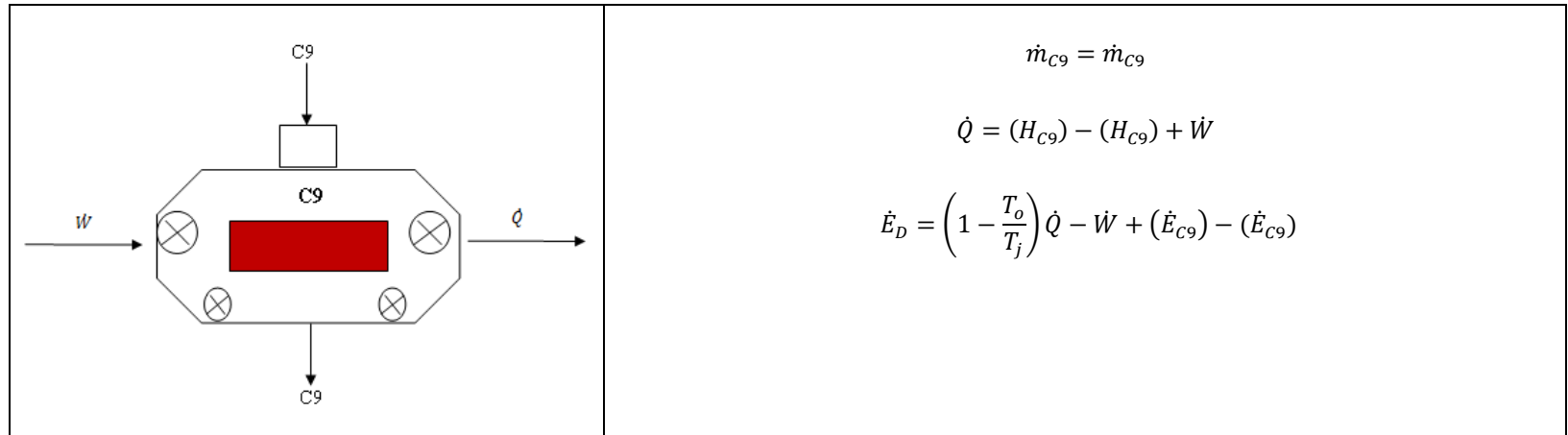
$$\dot{m}_{C4} + \dot{m}_{C4} + \dot{m}_{C4} + \dot{m}_{C4} + \dot{m}_{C4} = \dot{m}_{C4}$$

$$\dot{Q} = (H_{C4} + H_{C4} + H_{C4} + H_{C4} + H_{C4}) - (H_{C4}) + \dot{W}$$

$$\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + (\dot{E}_{C4} + \dot{E}_{C4} + \dot{E}_{C4} + \dot{E}_{C4} + \dot{E}_{C4}) - (\dot{E}_{C4})$$

<p><b>Banco C5</b></p> 	$\dot{m}_{C5} = \dot{m}_{C5}$ $\dot{Q} = (H_{C5}) - (H_{C5}) + \dot{W}$ $\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + (\dot{E}_{C5}) - (\dot{E}_{C5})$
<p><b>Banco C6</b></p> 	$\dot{m}_{C6} + \dot{m}_{C6} + \dot{m}_{C6} = \dot{m}_{C6}$ $\dot{Q} = (H_{C6} + H_{C6} + H_{C6}) - (H_{C6}) + \dot{W}$ $\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + (\dot{E}_{C6} + \dot{E}_{C6} + \dot{E}_{C6}) - (\dot{E}_{C6})$
<p><b>Banco C7</b></p>	

	$\dot{m}_{C7} + \dot{m}_{C7} + \dot{m}_{C7} = \dot{m}_{C7}$ $\dot{Q} = (H_{C7} + H_{C7} + H_{C7}) - (H_{C7}) + \dot{W}$ $\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + (\dot{E}_{C7} + \dot{E}_{C7} + \dot{E}_{C7}) - (\dot{E}_{C7})$
<p><b>Banco C8</b></p> 	$\dot{m}_{C8} = \dot{m}_{C8}$ $\dot{Q} = (H_{C8}) - (H_{C8}) + \dot{W}$ $\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + (\dot{E}_{C8}) - (\dot{E}_{C8})$
<p><b>Banco C9</b></p>	



$$\dot{m}_{C9} = \dot{m}_{C9}$$

$$\dot{Q} = (H_{C9}) - (H_{C9}) + \dot{W}$$

$$\dot{E}_D = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q} - \dot{W} + (\dot{E}_{C9}) - (\dot{E}_{C9})$$

**ANEXO 12. BALANCE DE MASA POR VOLUMENES DE CONTROL**

<b>1ER PLANSIFTER</b>			
<b>ENTRADAS (Ton/h)</b>		<b>SALIDAS (Ton/h)</b>	
<b>1PBK</b>	9,660	<b>2/3 BK</b>	6,050
		<b>SIZa</b>	0,908
		<b>SIZb</b>	1,486
		<b>DD-1</b>	0,451
		<b>H1</b>	0,727
<b>SIZaSIZb</b>	3,755	<b>4BK-C4p</b>	0,608
		<b>C4p</b>	0,470
		<b>C1a</b>	1,604
		<b>H1</b>	1,053
<b>C1aC1b</b>	2,090	<b>C4p</b>	0,176
		<b>C1</b>	0,169
		<b>C2p-H1</b>	1,636
		<b>H1</b>	0,012
<b>5BK</b>	2,707	<b>CEP-1</b>	2,329
		<b>C7</b>	0,043
		<b>H1</b>	0,139
		<b>C6</b>	0,180
<b>4BK</b>	3,133	<b>5BK</b>	2,707
		<b>C4</b>	0,058
		<b>C1a</b>	0,090
		<b>H1</b>	0,270
<b>2/3 BK</b>	6,050	<b>4BK</b>	3,120
		<b>SIZa</b>	0,296
		<b>SIZb/C1a</b>	1,066
		<b>DD-1</b>	0,842
		<b>H1</b>	0,717
<b>TOTAL</b>	<b>27,396</b>	<b>TOTAL</b>	<b>27,207</b>

<b>2DO PLANSIFTER</b>			
<b>ENTRADAS (Ton/h)</b>		<b>SALIDAS (Ton/h)</b>	
<b>C1</b>	1,494	<b>4BK</b>	0,013
		<b>C4</b>	0,001
		<b>C2</b>	0,648
		<b>H1</b>	0,770
		<b>H1</b>	0,040
<b>C2</b>	0,648	<b>C4</b>	0,001
		<b>C3</b>	0,192
		<b>H1</b>	0,448
<b>C5</b>	0,228	<b>C7</b>	0,101
		<b>C6</b>	0,058
		<b>H1</b>	0,065
<b>C3</b>	0,545	<b>C4</b>	0,172
		<b>C5</b>	0,228
		<b>H1</b>	0,140
<b>DD-1</b>	1,293	<b>C4</b>	0,395
		<b>C1</b>	0,071
		<b>C1b-C3</b>	0,749
		<b>H1</b>	0,076
<b>TOTAL</b>	<b>4,208</b>	<b>TOTAL</b>	<b>4,167</b>

<b>3ER PLANSISTER</b>			
<b>ENTRADAS (Ton/h)</b>		<b>SALIDAS (Ton/h)</b>	
<b>C8</b>	0,378	<b>C10</b>	0,098
		<b>C9</b>	0,268
		<b>H1</b>	0,001
<b>C7</b>	0,615	<b>C10</b>	0,086
		<b>C8</b>	0,378
		<b>H1</b>	0,118
<b>C4</b>	0,627	<b>VIBRO-2</b>	0,030
		<b>C6</b>	0,389
		<b>H1</b>	0,205
<b>C6</b>	0,627	<b>C7</b>	0,471
		<b>H1</b>	0,137
<b>C9</b>	0,268	<b>TERCERA</b>	0,108
		<b>C10</b>	0,090
		<b>H1</b>	0,039
<b>C10</b>	0,274	<b>TERCERA</b>	0,073
		<b>H1</b>	0,120
<b>TOTAL</b>	<b>2,789</b>	<b>TOTAL</b>	<b>2,611</b>

<b>CEP-1 (3ER PISO)</b>			
<b>ENTRADA (Ton/h)</b>		<b>SALIDAS (Ton/h)</b>	
<b>CEP-1</b>	2,329	<b>VIBRO -2</b>	0,593
		<b>SALVADO</b>	1,729
<b>TOTAL</b>	<b>2,329</b>	<b>TOTAL</b>	<b>2,322</b>

<b>VIBRO-1 (4TO PISO)</b>			
<b>ENTRADA (Ton/h)</b>		<b>SALIDAS (Ton/h)</b>	
<b>VIBRO-1</b>	0,442	<b>H1</b>	0,180
		<b>TERCERA</b>	0,240
<b>TOTAL</b>	<b>0,442</b>	<b>TOTAL</b>	<b>0,420</b>

<b>CEP-2 (5TO PISO)</b>			
<b>ENTRADA (Ton/h)</b>		<b>SALIDAS (Ton/h)</b>	
<b>CEP-2</b>	0,698	<b>VIBRO-1</b>	0,442
		<b>SALVADO</b>	0,248
<b>TOTAL</b>	<b>0,698</b>	<b>TOTAL</b>	<b>0,690</b>

<b>VIBRO-2 (5TO PISO)</b>			
<b>ENTRADA (Ton/h)</b>		<b>SALIDAS (Ton/h)</b>	
<b>VIBRO-2</b>	0,623	<b>H1</b>	0,520
		<b>TERCERA</b>	0,100
<b>TOTAL</b>	<b>0,623</b>	<b>TOTAL</b>	<b>0,620</b>

<b>BANCO C1</b>			
<b>ENTRADAS (Ton/h)</b>		<b>SALIDA (Ton/h)</b>	
<b>C4p</b>	0,470	<b>C1</b>	1,494
<b>4BK-C4p</b>	0,608		
<b>C4p</b>	0,176		
<b>C1</b>	0,169		
<b>C1</b>	0,071		
<b>TOTAL</b>	<b>1,494</b>	<b>TOTAL</b>	<b>1,494</b>

<b>BANCO C4</b>			
<b>ENTRADAS (Ton/h)</b>		<b>SALIDA (Ton/h)</b>	
<b>C4</b>	0,058	<b>C4</b>	0,627
<b>C4</b>	0,395		
<b>C4</b>	0,001		
<b>C4</b>	0,001		
<b>C4</b>	0,172		
<b>TOTAL</b>	<b>0,627</b>	<b>TOTAL</b>	<b>0,627</b>

<b>BANCO C2</b>			
<b>ENTRADAS (Ton/h)</b>		<b>SALIDA (Ton/h)</b>	
<b>C2</b>	0,648	<b>C2</b>	0,648
<b>TOTAL</b>	<b>0,648</b>	<b>TOTAL</b>	<b>0,648</b>

<b>BANCO C5</b>			
<b>ENTRADAS (Ton/h)</b>		<b>SALIDA (Ton/h)</b>	
<b>C5</b>	0,228	<b>C5</b>	0,228
<b>TOTAL</b>	<b>0,228</b>	<b>TOTAL</b>	<b>0,228</b>

<b>BANCO C3</b>			
<b>ENTRADAS (Ton/h)</b>		<b>SALIDA (Ton/h)</b>	
<b>C3</b>	0,192	<b>C3</b>	0,545
<b>C1b-C3</b>	0,353		
<b>TOTAL</b>	<b>0,545</b>	<b>TOTAL</b>	<b>0,545</b>

<b>BANCO C6</b>			
<b>ENTRADAS (Ton/h)</b>		<b>SALIDA (Ton/h)</b>	
<b>C6</b>	0,180	<b>C6</b>	0,627
<b>C6</b>	0,058		
<b>C6</b>	0,389		
<b>TOTAL</b>	<b>0,627</b>	<b>TOTAL</b>	<b>0,627</b>

<b>BANCO C7</b>			
<b>ENTRADAS (Ton/h)</b>		<b>SALIDA (Ton/h)</b>	
<b>C7</b>	0,043	<b>C7</b>	0,615
<b>C7</b>	0,101		
<b>C7</b>	0,471		
<b>TOTAL</b>	<b>0,615</b>	<b>TOTAL</b>	<b>0,615</b>

<b>BANCO C8</b>			
<b>ENTRADAS (Ton/h)</b>		<b>SALIDA (Ton/h)</b>	
<b>C8</b>	0,378	<b>C8</b>	0,378
<b>TOTAL</b>	<b>0,378</b>	<b>TOTAL</b>	<b>0,378</b>

<b>BANCO C9</b>			
<b>ENTRADAS (Ton/h)</b>		<b>SALIDA (Ton/h)</b>	
<b>C9</b>	0,268	<b>C9</b>	0,268
<b>TOTAL</b>	<b>0,268</b>	<b>TOTAL</b>	<b>0,268</b>

<b>BANCO C10</b>			
<b>ENTRADAS (Ton/h)</b>		<b>SALIDA (Ton/h)</b>	
<b>C10</b>	0,086	<b>C10</b>	0,274
<b>C10</b>	0,098		
<b>C10</b>	0,090		
<b>TOTAL</b>	<b>0,274</b>	<b>TOTAL</b>	<b>0,274</b>

<b>SEPARADORA</b>			
<b>ENTRADAS (Ton/h)</b>		<b>SALIDA (Ton/h)</b>	
<b>SEPARADORA</b>	6,933	<b>PULIDORA</b>	6,480
		<b>IMPUREZAS</b>	0,401
<b>TOTAL</b>	<b>6,933</b>	<b>TOTAL</b>	<b>6,881</b>

<b>PULIDORA</b>			
<b>ENTRADAS (Ton/h)</b>		<b>SALIDA (Ton/h)</b>	
<b>PULIDORA</b>	6,480	<b>TRIGO LIMPIO</b>	6,363
		<b>IMPUREZAS</b>	0,079
<b>TOTAL</b>	<b>6,480</b>	<b>TOTAL</b>	<b>6,442</b>



### ANEXO 13. BALANCES DE ENERGÍA POR VOLUMENES DE CONTROL

1ER PLANSIFTER (4to. PISO)			
ENERGÍA (KJ)		Q (KJ)	W (KJ)
Entrada	Salida		
13.493.321,399	10.284.106,471	3.703.422,928	494.208,000

2DO PLANSIFTER (4to. PISO)			
ENERGÍA (KJ)		Q (KJ)	W (KJ)
Entrada	Salida		
2.108.367,293	2.143.803,931	154.643,363	190.080,000

3ER PLANSIFTER (4to. PISO)			
ENERGÍA (KJ)		Q (KJ)	W (KJ)
Entrada	Salida		
1.398.218,118	1.283.740,575	319.763,943	205.286,400

CEPILLADORA- 1 (3er. PISO)			
ENERGÍA (KJ)		Q (KJ)	W (KJ)
Entrada	Salida		
1.317.873,616	1.734.300,248	1.749,367	418.176,000

VIBRO - 1 (4to. PISO)			
ENERGÍA (KJ)		Q (KJ)	W (KJ)
Entrada	Salida		
378.206,988	285.776,330	282.510,658	190.080,000

CEPILLADORA- 2 (5to. PISO)			
ENERGÍA (KJ)		Q (KJ)	W (KJ)
Entrada	Salida		
716.672,756	519.509,209	569.725,187	372.561,640

VIBRO - 2 (5to. PISO)			
ENERGÍA (KJ)		Q (KJ)	W (KJ)
Entrada	Salida		
519.600,469	356.956,487	341.319,182	178.675,200

BANCO 1PBK (2do. PISO)			
ENERGÍA (KJ)		Q (KJ)	W (KJ)
Entrada	Salida		
2.113.313,127	3.790.368,181	63.904,946	1.740.960,000

<b>BANCO C1 (2do. PISO)</b>			
<b>ENERGÍA (KJ)</b>		<b>Q (KJ)</b>	<b>W (KJ)</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
169.257,856	781.933,442	721.686,014	1.334.361,600

<b>BANCO C2 (2do. PISO)</b>			
<b>ENERGÍA (KJ)</b>		<b>Q (KJ)</b>	<b>W (KJ)</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
441.103,923	366.465,039	799.362,084	724.723,200

<b>BANCO C3 (2do. PISO)</b>			
<b>ENERGÍA (KJ)</b>		<b>Q (KJ)</b>	<b>W (KJ)</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
131.638,975	276.926,061	573.215,313	718.502,400

<b>BANCO C4 (2do. PISO)</b>			
<b>ENERGÍA (KJ)</b>		<b>Q (KJ)</b>	<b>W (KJ)</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
122.623,365	334.067,729	168.715,635	380.160,000

<b>BANCO C5 (2do. PISO)</b>			
<b>ENERGÍA (KJ)</b>		<b>Q (KJ)</b>	<b>W (KJ)</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
116.990,248	97.065,087	187.195,561	167.270,400

<b>BANCO C6 (2do. PISO)</b>			
<b>ENERGÍA (KJ)</b>		<b>Q (KJ)</b>	<b>W (KJ)</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
146.827,261	286.756,817	58.790,443	198.720,000

<b>BANCO C7 (2do. PISO)</b>			
<b>ENERGÍA (KJ)</b>		<b>Q (KJ)</b>	<b>W (KJ)</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
170.529,952	323.189,538	253.420,414	406.080,000

<b>BANCO 2/3BK (2do. PISO)</b>			
<b>ENERGÍA (KJ)</b>		<b>Q (KJ)</b>	<b>W (KJ)</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
2.082.065,235	2.673.852,471	2.332.852,763	2.924.640,000

<b>BANCO C8 (2do. PISO)</b>			
<b>ENERGÍA (KJ)</b>		<b>Q (KJ)</b>	<b>W (KJ)</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
191.911,165	189.953,391	290.879,374	288.921,600

<b>BANCO C9 (2do. PISO)</b>			
<b>ENERGÍA (KJ)</b>		<b>Q (KJ)</b>	<b>W (KJ)</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
133.514,222	131.913,962	275.315,459	273.715,200

<b>BANCO C10 (2do. PISO)</b>			
<b>ENERGÍA (KJ)</b>		<b>Q (KJ)</b>	<b>W (KJ)</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
43.378,786	132.336,681	279.797,306	368.755,200

<b>BANCO 4BK (2do. PISO)</b>			
<b>ENERGÍA (KJ)</b>		<b>Q (KJ)</b>	<b>W (KJ)</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
917.842,953	1.750.562,078	273.546,476	1.106.265,600

<b>BANCO 5BK (2do. PISO)</b>			
<b>ENERGÍA (KJ)</b>		<b>Q (KJ)</b>	<b>W (KJ)</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
1.271.100,768	1.382.624,132	778.051,036	889.574,400

<b>BANCO C1aC1b (2do. PISO)</b>			
<b>ENERGÍA (KJ)</b>		<b>Q (KJ)</b>	<b>W (KJ)</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
545.655,509	1.452.355,978	2.112.979,531	3.019.680,000

<b>BANCO SIZaSIZb (2do. PISO)</b>			
<b>ENERGÍA (KJ)</b>		<b>Q (KJ)</b>	<b>W (KJ)</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
396.074,027	2.138.885,155	218.468,872	1.961.280,000

<b>SEPARADORA (2do. PISO)</b>			
<b>ENERGÍA (KJ)</b>		<b>Q (KJ)</b>	<b>W (KJ)</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
2.401.901,330	2.088.819,129	370.106,202	57.024,000

<b>PULIDORA (2do. PISO)</b>			
<b>ENERGÍA (KJ)</b>		<b>Q (KJ)</b>	<b>W (KJ)</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
1.981.030,329	1.836.352,796	353.765,533	209.088,000

## ANEXO 14. BALANCES DE ENTROPIA POR VOLUMENES DE CONTROL

1ER PLANSIFTER (4to. PISO)			
ENTROPIA (KJ /K)		$\dot{S}Q$	$\dot{S}_{gen}$
Entrada	Salida		
44.453,597	33.246,669	12.018,247	811,320

2DO PLANSIFTER (4to. PISO)			
ENTROPIA (KJ /K)		$\dot{S}Q$	$\dot{S}_{gen}$
Entrada	Salida		
6.942,979	7.052,128	501,844	610,994

3ER PLANSIFTER (4to. PISO)			
ENTROPIA (KJ /K)		$\dot{S}Q$	$\dot{S}_{gen}$
Entrada	Salida		
4.602,295	4.226,725	1.037,689	662,119

CEPILLADORA- 1 (3er. PISO)			
ENTROPIA (KJ /K)		$\dot{S}Q$	$\dot{S}_{gen}$
Entrada	Salida		
4.333,535	5.668,327	5,677	1.340,469

VIBRO - 1 (4to. PISO)			
ENTROPIA (KJ /K)		$\dot{S}Q$	$\dot{S}_{gen}$
Entrada	Salida		
1.231,696	935,445	916,796	620,546

CEPILLADORA- 2 (5to. PISO)			
ENTROPIA (KJ /K)		$\dot{S}Q$	$\dot{S}_{gen}$
Entrada	Salida		
2.319,183	1.696,081	1.848,857	1.255,755

VIBRO - 2 (5to. PISO)			
ENTROPIA (KJ /K)		$\dot{S}Q$	$\dot{S}_{gen}$
Entrada	Salida		
1.692,168	1.171,712	1.107,640	587,184

BANCO 1PBK (2do. PISO)			
ENTROPIA (KJ /K)		$\dot{S}Q$	$\dot{S}_{gen}$
Entrada	Salida		
7.029,309	12.526,495	207,383	5.704,568

BANCO C1 (2do. PISO)			
ENTROPIA (KJ /K)		$\dot{S}Q$	$\dot{S}_{gen}$
Entrada	Salida		
2.004,729	2.573,303	2.341,996	2.910,569

BANCO C2 (2do. PISO)			
ENTROPIA (KJ /K)		$\dot{S}Q$	$\dot{S}_{gen}$
Entrada	Salida		
1.443,921	1.203,867	2.594,068	2.354,014

BANCO C3 (2do. PISO)			
ENTROPIA (KJ /K)		$\dot{S}Q$	$\dot{S}_{gen}$
Entrada	Salida		
838,597	911,350	1.860,183	1.932,935

BANCO C4 (2do. PISO)			
ENTROPIA (KJ /K)		$\dot{S}Q$	$\dot{S}_{gen}$
Entrada	Salida		
851,729	1.098,864	547,511	794,646

BANCO C5 (2do. PISO)			
ENTROPIA (KJ /K)		$\dot{S}Q$	$\dot{S}_{gen}$
Entrada	Salida		
384,946	320,374	607,482	542,910

BANCO C6 (2do. PISO)			
ENTROPIA (KJ /K)		$\dot{S}Q$	$\dot{S}_{gen}$
Entrada	Salida		
958,258	945,547	190,785	178,075

<b>BANCO C7 (2do. PISO)</b>			
<b>ENTROPIA (KJ /K)</b>		$\dot{S}Q$	$\dot{S}gen$
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
888,105	1.062,910	822,393	997,198

<b>BANCO 2/3BK (2do. PISO)</b>			
<b>ENTROPIA (KJ /K)</b>		$\dot{S}Q$	$\dot{S}gen$
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
6.900,295	8.829,675	7.570,510	9.499,891

<b>BANCO C8 (2do. PISO)</b>			
<b>ENTROPIA (KJ /K)</b>		$\dot{S}Q$	$\dot{S}gen$
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
631,467	625,127	943,954	937,614

<b>BANCO C9 (2do. PISO)</b>			
<b>ENTROPIA (KJ /K)</b>		$\dot{S}Q$	$\dot{S}gen$
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
439,460	434,122	893,446	888,108

<b>BANCO C10 (2do. PISO)</b>			
<b>ENTROPIA (KJ /K)</b>		$\dot{S}Q$	$\dot{S}gen$
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
445,834	435,726	907,991	897,882

<b>BANCO 4BK (2do. PISO)</b>			
<b>ENTROPIA (KJ /K)</b>		$\dot{S}Q$	$\dot{S}gen$
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
3.076,894	5.757,269	887,706	3.568,080

<b>BANCO 5BK (2do. PISO)</b>			
<b>ENTROPIA (KJ /K)</b>		$\dot{S}Q$	$\dot{S}gen$
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
4.192,946	4.553,846	2.524,910	2.885,810

<b>BANCO C1aC1b (2do. PISO)</b>			
<b>ENTROPIA (KJ /K)</b>		$\dot{S}Q$	$\dot{S}gen$
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
2.854,617	4.749,593	6.856,984	8.751,959

<b>BANCO SIZaSIZb (2do. PISO)</b>			
<b>ENTROPIA (KJ /K)</b>		$\dot{S}Q$	$\dot{S}gen$
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
4.279,749	7.029,827	708,969	3.459,048

<b>SEPARADORA (2do. PISO)</b>			
<b>ENTROPIA (KJ /K)</b>		$\dot{S}Q$	$\dot{S}gen$
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
7.943,318	6.919,560	1.201,059	177,300

<b>PULIDORA (2do. PISO)</b>			
<b>ENTROPIA (KJ /K)</b>		$\dot{S}Q$	$\dot{S}gen$
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>		
6.562,213	6.087,967	1.148,030	673,784

## ANEXO 15. BALANCES DE EXERGÍA POR VOLUMENES DE CONTROL

1ER PLANSIFTER (4to. PISO)				
EXERGÍA (KJ /K)		$\dot{E}_Q$	$\dot{E}_w$	$\dot{E}_D$
Entrada	Salida			
239.481,425	138.177,048	60.091,237	494.208,000	245.951,554

2DO PLANSIFTER (4to. PISO)				
EXERGÍA (KJ /K)		$\dot{E}_Q$	$\dot{E}_w$	$\dot{E}_D$
Entrada	Salida			
38.318,196	37.853,943	2.509,222	190.080,000	185.222,798

3ER PLANSIFTER (4to. PISO)				
EXERGÍA (KJ /K)		$\dot{E}_Q$	$\dot{E}_w$	$\dot{E}_D$
Entrada	Salida			
26.043,755	23.542,480	5.188,446	205.286,400	200.721,378

CEPILLADORA- 1 (3er. PISO)				
EXERGÍA (KJ /K)		$\dot{E}_Q$	$\dot{E}_w$	$\dot{E}_D$
Entrada	Salida			
25.830,215	44.288,625	28,385	418.176,000	406.363,165

VIBRO - 1 (4to. PISO)				
EXERGÍA (KJ /K)		$\dot{E}_Q$	$\dot{E}_w$	$\dot{E}_D$
Entrada	Salida			
10.976,963	6.873,359	4.583,980	190.080,000	188.118,372

CEPILLADORA- 2 (5to. PISO)				
EXERGÍA (KJ /K)		$\dot{E}_Q$	$\dot{E}_w$	$\dot{E}_D$
Entrada	Salida			
25.208,338	13.822,518	9.244,283	372.561,640	371.587,670

<b>VIBRO - 2 (5to. PISO)</b>				
<b>EXERGÍA (KJ /K)</b>		<b>ĖQ</b>	<b>Ėw</b>	<b>ĖD</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>			
15.080,724	7.610,670	5.538,199	178.675,200	178.004,776

<b>BANCO 1PBK (2do. PISO)</b>				
<b>EXERGÍA (KJ /K)</b>		<b>ĖQ</b>	<b>Ėw</b>	<b>ĖD</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>			
17.524,563	55.593,682	1.036,913	1.740.960,000	1.729.339,897

<b>BANCO C1 (2do. PISO)</b>				
<b>EXERGÍA (KJ /K)</b>		<b>ĖQ</b>	<b>Ėw</b>	<b>ĖD</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>			
8.978,740	14.703,163	11.709,979	1.334.361,600	882.339,120

<b>BANCO C2 (2do. PISO)</b>				
<b>EXERGÍA (KJ /K)</b>		<b>ĖQ</b>	<b>Ėw</b>	<b>ĖD</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>			
10.598,746	7.532,043	12.970,340	724.723,200	713.619,292

<b>BANCO C3 (2do. PISO)</b>				
<b>EXERGÍA (KJ /K)</b>		<b>ĖQ</b>	<b>Ėw</b>	<b>ĖD</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>			
4.413,455	5.207,207	9.300,914	718.502,400	585.969,275

<b>BANCO C4 (2do. PISO)</b>				
<b>EXERGÍA (KJ /K)</b>		<b>ĖQ</b>	<b>Ėw</b>	<b>ĖD</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>			
3.808,855	6.441,359	2.737,557	380.160,000	240.897,024

<b>BANCO C5 (2do. PISO)</b>				
<b>EXERGÍA (KJ /K)</b>		<b>ĖQ</b>	<b>Ėw</b>	<b>ĖD</b>
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>			
2.218,486	1.545,524	3.037,410	167.270,400	164.583,092

BANCO C6 (2do. PISO)				
EXERGÍA (KJ/K)		ĖQ	Ėw	ĖD
Entrada	Salida			
5.080,398	4.842,003	953,926	198.720,000	53.983,287

BANCO C7 (2do. PISO)				
EXERGÍA (KJ/K)		ĖQ	Ėw	ĖD
Entrada	Salida			
4.379,978	6.283,060	4.111,965	406.080,000	302.300,429

BANCO 2/3BK (2do. PISO)				
EXERGÍA (KJ/K)		ĖQ	Ėw	ĖD
Entrada	Salida			
24.742,270	41.284,780	37.852,552	2.924.640,000	2.879.891,840

BANCO C8 (2do. PISO)				
EXERGÍA (KJ/K)		ĖQ	Ėw	ĖD
Entrada	Salida			
3.639,212	3.571,807	4.719,769	288.921,600	284.237,533

BANCO C9 (2do. PISO)				
EXERGÍA (KJ/K)		ĖQ	Ėw	ĖD
Entrada	Salida			
2.489,256	2.480,457	4.467,231	273.715,200	269.230,079

BANCO C10 (2do. PISO)				
EXERGÍA (KJ/K)		ĖQ	Ėw	ĖD
Entrada	Salida			
2.523,670	2.425,067	4.539,953	368.755,200	272.193,029

BANCO 4BK (2do. PISO)				
EXERGÍA (KJ/K)		ĖQ	Ėw	ĖD
Entrada	Salida			
9.684,073	34.032,313	4.438,528	1.106.265,600	1.081.663,571



<b>BANCO 5BK (2do. PISO)</b>				
<b>EXERGÍA (KJ/K)</b>		$\dot{E}_Q$	$\dot{E}_w$	$\dot{E}_D$
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>			
20.973,874	24.894,920	12.624,550	889.574,400	874.833,303

<b>BANCO C1aC1b (2do. PISO)</b>				
<b>EXERGÍA (KJ/K)</b>		$\dot{E}_Q$	$\dot{E}_w$	$\dot{E}_D$
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>			
12.844,784	36.264,904	34.284,919	3.019.680,000	2.653.156,420

<b>BANCO SIZaSIZb (2do. PISO)</b>				
<b>EXERGÍA (KJ/K)</b>		$\dot{E}_Q$	$\dot{E}_w$	$\dot{E}_D$
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>			
15.365,974	42.942,152	3.544,846	1.961.280,000	1.048.610,361

<b>SEPARADORA (2do. PISO)</b>				
<b>EXERGÍA (KJ/K)</b>		$\dot{E}_Q$	$\dot{E}_w$	$\dot{E}_D$
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>			
33.600,942	25.752,283	6.005,293	57.024,000	53.748,575

<b>PULIDORA (2do. PISO)</b>				
<b>EXERGÍA (KJ/K)</b>		$\dot{E}_Q$	$\dot{E}_w$	$\dot{E}_D$
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>			
24.506,407	21.225,470	5.740,151	209.088,000	204.257,552

## ANEXO 16. INFORMACIÓN DE MOTORES ELECTRICOS

MOTORES										
REFERENCIA	POTENCIA (HP)	KW PLACA	KJ/DIA PLACA	AMP PLACA	AMP TRAB	VOLTAJE	KW TRAB	KJ/DIA TRAB	PISO	SECCIÓN
VIBRO-2	4,0	3	259200	6,50	4,7	440	2,068	178675,2	5°	Molienda
CEPILLADORA	6,6	4,9	423360	9,80	9,8	440	4,312	372556,8	5°	Molienda
VIBRO-1	5,4	4	345600	8,30	5	440	2,2	190080	4°	Molienda
PLANSISTER C8-C7-C4	4	3,0	257818	6,78	5,4	440	2,376	205286,4	4°	Molienda
PLANSISTER C3-C1-DD1	7,5	5,6	483840	13,00	5	440	2,2	190080	4°	Molienda
PLANSISTER 5BK-4BK	10	7,5	644544	16,95	13	440	5,72	494208	4°	Molienda
SEPARADORA	4,8	3,6	309381	8,14	1,5	440	0,66	57024	4°	Limpia
PULIDORA	12	9,0	773453	20,35	5,5	440	2,42	209088	3°	Limpia
CEPILLADORA	6,6	3,9	336960	9,80	11	440	4,84	418176	3°	Molienda
BANCO C1- TIERRA	20	11,25	972000	23,70	22,1	440	9,724	840153,6	2°	Molienda
BANCO C1- AGUA	15	11,25	972000	23,70	13	440	5,72	494208	2°	Molienda
BANCO C2- TIERRA	15	11,25	972000	23,70	13	440	5,72	494208	2°	Molienda
BANCO C2- AGUA	10	7,50	648000	12,30	5,8	460	2,668	230515,2	2°	Molienda
BANCO C3	20	11,25	972000	23,70	18,9	440	8,316	718502,4	2°	Molienda
BANCO C4	10	7,50	648000	16,00	10	440	4,4	380160	2°	Molienda
BANCO C5	10	11,25	972000	23,70	4,4	440	1,936	167270,4	2°	Molienda
BANCO C6	10	7,50	648000	12,50	5	460	2,3	198720	2°	Molienda
BANCO C7	10	7,50	648000	12,30	10	470	4,7	406080	2°	Molienda
BANCO C8	9	6,75	583200	14,30	7,6	440	3,344	288921,6	2°	Molienda
BANCO C9	7,5	5,60	483408	13,00	7,2	440	3,168	273715,2	2°	Molienda
BANCO C10	15	11,25	972000	18,10	9,7	440	4,268	368755,2	2°	Molienda
BANCO 4BK	25	18,75	1620000	34,00	29,1	440	12,804	1106265,6	2°	Molienda
BANCO 5BK	20	15,00	1296000	33,00	23,4	440	10,296	889574,4	2°	Molienda
BANCO 1SIZB	25	18,60	1607040	34,00	26,1	500	13,05	1127520	2°	Molienda
BANCO 1SIZA	25	18,60	1607040	34,00	19,3	500	9,65	833760	2°	Molienda
BANCO 3BK- TIERRA	30	18,75	1620000	34,00	15,1	500	7,55	652320	2°	Molienda
BANCO 3BK- AGUA	25	18,75	1620000	34,00	14,6	500	7,3	630720	2°	Molienda

<b>MOTORES</b>										
<b>REFERENCIA</b>	<b>POTENCIA (HP)</b>	<b>KW PLACA</b>	<b>KJ/DIA PLACA</b>	<b>AMP PLACA</b>	<b>AMP TRAB</b>	<b>VOLTAJE</b>	<b>KW TRAB</b>	<b>KJ/DIA TRAB</b>	<b>PISO</b>	<b>SECCIÓN</b>
BANCO 2BK- TIERRA	25	22,50	1944000	40,50	20,5	500	10,25	885600	2°	Molienda
BANCO 2BK- AGUA	30	22,50	1944000	40,50	17,5	500	8,75	756000	2°	Molienda
BANCO C1A- AGUA	25	18,65	1611360	34,00	20,3	500	10,15	876960	2°	Molienda
BANCO C1A- TIERRA	20	18,75	1620000	34,00	18,4	500	9,2	794880	2°	Molienda
BANCO C1B- AGUA	20	11,25	972000	23,70	16,1	500	8,05	695520	2°	Molienda
BANCO C1B- TIERRA	25	11,25	972000	23,70	15,1	500	7,55	652320	2°	Molienda
BANCO 1PBK - AGUA	30	22,50	1944000	43,00	20,4	500	10,2	881280	2°	Molienda
BANCO 1PBK- TIERRA	30	22,50	1944000	39,00	19,9	500	9,95	859680	2°	Molienda