

Cleaner Production as a strategy to reduce energy and water consumption in a Poultry Slaughtering Plant

Jorge Abad-Morán, PhD¹, Esteban Tapia-Merino, MSc.¹

¹Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador
jabad@espol.edu.ec, edtapia@espol.edu.ec

Abstract— Poultry production is a competitive market that requires industries to have efficient process in order to increase their productivity. At the same time, environmental legislation demand that industries look for a long-term sustainable business model. With this scenario, a Cleaner Production program is developed in a Bird Slaughter Plant located in Guayas Province - Ecuador, with the purpose of reducing energy and water consumption. To achieve this objective, the applied methodology combined aspects of Cleaner Production, ISO standards, among others. The results exceeded expectations, it significantly reduces energy and water consumption with savings of USD 500,000 per year.

Keywords— Cleaner Production, Energy Efficiency, water, industry, ISO 50001.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.140>
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

Producción más Limpia (P+L) como estrategia para reducir el consumo energético y de agua en una Planta de Faenamiento de Aves

Jorge Abad-Morán, PhD¹, Esteban Tapia-Merino, MSc.¹

¹Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador
jabad@espol.edu.ec, edtapia@espol.edu.ec

Abstract– Poultry production is a competitive market that requires industries to have efficient process in order to increase their productivity. At the same time, environmental legislation demand that industries look for a long-term sustainable business model. With this scenario, a Cleaner Production program is developed in a Bird Slaughter Plant located in Guayas Province - Ecuador, with the purpose of reducing energy and water consumption. To achieve this objective, the applied methodology combined aspects of Cleaner Production, ISO standards, among others. The results exceeded expectations, it significantly reduces energy and water consumption with savings of USD 500,000 per year

Keywords: Cleaner Production, Energy Efficiency, water, industry, ISO 50001

Resumen - La producción avícola es un mercado competitivo que exige a las industrias procesos eficientes para aumentar su productividad. A su vez, la legislación ambiental y el cuidado de la naturaleza demanda que las industrias busquen un modelo de negocio sostenible a largo plazo. Con este escenario, se desarrolla un programa de Producción Más Limpia en una Planta de Faenamiento de Aves ubicada en la Provincia del Guayas - Ecuador, con el propósito de reducir el consumo energético y de agua. Para alcanzar este objetivo, la metodología aplicada combinó aspectos de Producción Más Limpia, normas ISO, entre otras. Los resultados obtenidos superaron las expectativas, logrando reducir significativamente el consumo de energía y agua con unos ahorros de 500.000 USD anuales

Palabras claves: P+L, Eficiencia Energética, Agua, Industria, ISO 50001

I. INTRODUCCIÓN

A. Antecedentes

Las cadenas productivas que interactúan con la actividad agropecuaria pueden representar hasta un 20 % del total del PIB del Ecuador [1]. El sector avícola representó el 27% del PIB agropecuario y el 4,6 % de la Población Económicamente Activa (PEA) en el 2015 [2].

La Planta de Faenamiento de Aves, objeto de esta investigación, se encuentra en la provincia del Guayas en Ecuador. Esta provincia presenta varios problemas ambientales como la contaminación de sus recursos hídricos, uso intensivo de recursos, inundaciones, problemas en el manejo de los desechos, bajo nivel de tratamiento de

aguas residuales domésticas, y contaminación del aire por circulación vehicular.

Ante este escenario económico y ambiental, es necesario que las industrias implementen estrategias que permitan reducir sus costos productivos y al mismo tiempo minimizar el impacto ambiental de sus operaciones. Actualmente existen varios conceptos que permiten lograr estos objetivos como producción más limpia (P+L), economía circular, eco-eficiencia y eco-diseño.

La P+L es una estrategia de gestión que permite mejorar el desempeño económico y ambiental de una industria enfocándose en el uso adecuado de los recursos. Abarca de forma global sistemas de gestión, herramientas de análisis, indicadores y aspectos ambientales que la convierte en una estrategia integradora que permite mejorar la productividad de una industria.

El costo de los servicios básicos en el sector de la industria de alimentos y bebidas en el Ecuador puede representar más del 20% de los costos anuales de producción [3]. Dentro del concepto de servicios básicos se considera la electricidad y el agua, que son recursos similares para las industrias y que son analizados dentro de la presente investigación. Ahorros generados en estos costos representan un aumento en la productividad de dichas industrias.

Para Michael Porter [4], la calidad de los productos y la eficiencia productiva son dos aspectos que influyen de forma directa a la productividad y ésta a su vez a la competitividad de una organización.

B. Objetivo

El objetivo de esta investigación es reducir el consumo energético y de agua en una Planta de Faenamiento de Aves

C. Alcance

La presente investigación se enfoca en una planta de faenamiento de aves ubicada en la provincia del Guayas – Ecuador, específicamente en los siguientes procesos: 1. Faenamiento de aves; 2. Producción de harina aviar a partir de subproductos del faenamiento. Este proceso es conocido como “rendering”; 3. Gestión de emisiones, residuos y aguas residuales; 4. Gestión de servicios auxiliares (mantenimiento, limpieza, control de calidad, etc.)

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.140>
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

II. METODOLOGÍA

La presente investigación seleccionó Producción más Limpia (P+L) como la estrategia de gestión adecuada para mejorar el desempeño económico y ambiental de la Planta. Se utiliza la metodología que se muestra en la Fig. 1: basado en varios autores [5], [6], [7]

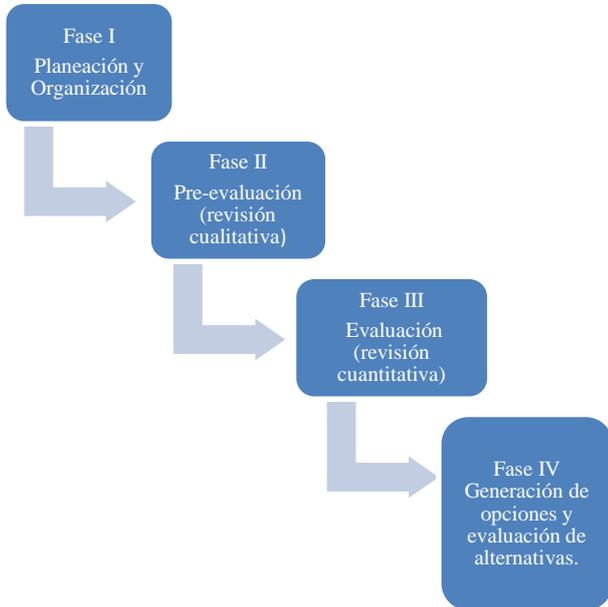


Fig. 1 Metodología aplicada para realizar P+L

A. Fase I: Planeación y Organización

Con el propósito de lograr una exitosa implementación de P+L se siguió el siguiente esquema: 1. Analizar la Planta. La herramienta idónea para analizar la planta desde el punto de vista ambiental es el análisis del flujo de materiales en los procesos productivos. Mediante esta herramienta se identifica el consumo de recursos, las salidas de los procesos y los costos de estos flujos; 2. Enfocar esfuerzos en áreas específicas. Existen varios flujos de entradas y salidas en una planta faenadora de aves, por lo que es necesario estratificar las áreas en base a su potencial de ahorro. La priorización es una actividad realizada en conjunto con la empresa; 3. Análisis a profundidad. Esta investigación se enfoca en el consumo energético y de agua, por lo que se seleccionó las guías [5], [6], [7], la norma ISO 50001 y su versión traducida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) mediante la NTE INEN – ISO 50001:2012 [8]; 4. Presentación de resultados a la Gerencia de la Planta

Una vez definida la hoja de ruta, se planifica el trabajo de campo. Se realizan las siguientes actividades previas al trabajo de campo: 1. Obtener la autorización y el compromiso de la Gerencia; 2. Una vez alcanzado este hito, se determina en conjunto con la empresa el alcance, los objetivos y las metas; 3. Determinar los recursos a utilizar; 4. Revisar los aspectos legales inherentes al proyecto. 5. Planear las actividades para el Diagnóstico de P+L; 6. Investigar la situación actual del mercado y de la empresa.

Revisar información existente, estudios ambientales y energéticos.

B. Fase II: Pre – evaluación (revisión cualitativa)

Esta fase del proyecto es una preparación previa a la Auditoría. La importancia de la visita inicial es fundamental porque permite ajustar el requerimiento de recursos para las auditorías posteriores. Las actividades realizadas son las siguientes: 1. Visita inicial de inspección de la planta; 2. Obtención de datos generales de la empresa; 3. Definir prioridades en función de la investigación y las necesidades de la empresa; 4. Investigar los avances tecnológicos y buenas prácticas en otras empresas similares en función de las necesidades de la planta.

C. Fase III: Evaluación (revisión cuantitativa).

Esta etapa incluye las visitas de campo, cuyo número depende de la magnitud de la empresa. Se recomienda que estas visitas sean realizadas por grupos de profesionales de diversas áreas con el fin de enriquecer los criterios u opciones de mejora. Las actividades realizadas son las siguientes: 1. Inspeccionar la empresa; 2. Cuantificar los materiales y recursos utilizados en los procesos (entradas y salidas) para obtener datos sobre la generación de emisiones, residuos y aguas residuales; 3. Elaborar balance de materiales; 4. Analizar las salidas de cada una de las etapas de los procesos e identificar cuáles son sus causas; 5. Identificar áreas / procesos / equipos que son usuarios significativos de recursos; 6. Determinar cuáles son las variables que afectan significativamente el uso o consumo de un recurso; 7. Definir las líneas base del consumo de recursos previo al desarrollo de iniciativas de P+L; 8. Identificar iniciativas u oportunidades de P+L de implementación inmediata e implementación futura

D. Fase IV: Generación de opciones y evaluación de alternativas.

En esta etapa se evalúan los resultados obtenidos y se elabora el informe final que contiene las oportunidades de mejora. Las actividades realizadas son las siguientes: 1. Generar alternativas y opciones de P+L ajustadas a las necesidades de la planta; 2. Analizar las opciones de P+L (evaluación técnica, económica y ambiental) y seleccionar las opciones más viables; 3. Realizar auditorías (inspecciones de campo) y reuniones adicionales (en caso de ser necesario); 4. Analizar los resultados; 5. Definir las alternativas a implementar en la Planta en los próximos años; 6. Elaborar el informe final

III. GESTIÓN AMBIENTAL DEL FAENAMIENTO DE AVES / DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La Planta de Faenamiento de Aves tiene un volumen de procesamiento anual de 58.000 Ton. Para alcanzar esta producción cuenta con 550 trabajadores distribuidos en varios turnos de trabajo.

Al analizar los diagramas de flujo del proceso, se identificaron los aspectos ambientales de consumo de

recursos (agua, electricidad y bunker), de generación de emisiones, de generación de aguas residuales y de generación de desechos.

El resumen de la gestión económica y ambiental de la Planta se presentan en las Tablas I, II, III y IV.

Tabla I. Consumo de recursos y costo anual

Recurso	Consumo anual	Costo anual (USD)
Electricidad	14'425.287 kWh	1'050.915
Agua	409.008 m ³	818.016
Combustible (bunker)	499.750 gal	599.700

Como se observa, la electricidad genera el mayor costo anual, seguido por el agua y el combustible.

Los desechos, aguas residuales y emisiones están cumpliendo los requerimientos legales, por lo que no representan un riesgo legal. Esto se puede observar en las Tablas II y III.

Tabla II. Resultados de análisis de gases de combustión

Parámetro	Resultado		L.M.P (*)	Evaluación
	Caldero 1	Caldero 2		
Óxidos de nitrógeno (mg / Nm ³)	442	439	850	Cumple
Dióxido de azufre (mg / Nm ³)	1.391	1.386	2.004	Cumple
Partículas totales (mg / Nm ³)	26	26	430	Cumple

(*) L.M.P.: Límite máximo permisible

Tabla III. Resultados de análisis de aguas residuales

Parámetros analizados	Salida de la PTAR	L.M.P.	Evaluación
pH	7,6	6 - 9	Cumple
Aceites y grasas (mg/L)	0,3	30	Cumple
DBO ₅ (mg/L)	2,6	100	Cumple
DQO (mg/L)	16	200	Cumple
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	8,6	130	Cumple
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	30	2.000	Cumple
Nitrógeno total (mg/L)	1,4	50	Cumple
Fósforo total (mg/L)	5,1	10	Cumple
Tensoactivos (mg/L)	0,036	0,5	Cumple

El costo económico de la gestión de los desechos, emisiones y aguas residuales se presentan en la Tabla IV.

Tabla IV. Gestión de los desechos

Aspecto	Costo anual de gestión (USD)
Desechos peligrosos	3.600
Desechos no peligrosos enviados al relleno sanitario	10.000
Operación de la compostera	50.000

La Tabla IV no incluye el costo del tratamiento del agua residual debido a que está incluido dentro del costo del agua en la Tabla I.

En base a las Tablas I a IV, se establece que las principales oportunidades de mejora se encuentran en el consumo de recursos. Los resultados de las acciones realizadas se presentan a continuación.

IV. RESULTADOS DE LAS ACCIONES REALIZADAS

Para determinar los ahorros generados por las iniciativas de P+L, se debe determinar la línea base de consumo. El consumo de energético o de agua se relaciona con la producción y se genera una línea base en forma de una ecuación de regresión lineal como la Ec. 1

$$y = a + bx. \quad \text{Ec. 1 [6]}$$

En esta ecuación, se reemplaza la variable X con los datos de producción para obtener el consumo energético o de agua teórico. Es decir, el consumo energético o de agua que se tuviera si no se hubiera desarrollado medidas de producción más limpia y se hubiera mantenido la tendencia inicial. Es importante indicar que se realizó un análisis de correlación de las variables de la regresión.

Los proyectos realizados para reducir el consumo energético y de agua fueron los siguientes:

A. Proyecto # 1. Mejoras en la operación de los túneles de congelación.

Los túneles de congelación son sistemas de enfriamiento diseñados para reducir la temperatura del producto final empacado, lo más rápido posible a temperaturas menores a - 20 °C. Su operación no es constante y depende de la planificación de la empresa.

Inicialmente, los túneles de congelación eran abastecidos por un sólo compresor de tornillo de 350 HP. Éste equipo arrancaba cuando se requería un sólo túnel o cuando se requería los cuatro túneles. La mejora implementada consistió en instalar un compresor de tornillo adicional, de menor potencia (200 HP), para abastecer a los túneles de congelación en situaciones donde no se requiere su capacidad total y operan únicamente uno o dos túneles. Los resultados obtenidos fueron:

- Consumo teórico: 1'357.720 kWh/año
- Consumo real: 979.498 kWh/año
- Ahorro obtenido: 378.222 kWh/año
- Ahorro obtenido: 37.822 USD/año

La implementación del equipo requirió de una inversión de 148.164 USD. Con el ahorro obtenido de forma anual, la inversión se recuperaría en 3,9 años. La tasa interna de retorno de este proyecto fue del 8,7 %.

B. Proyecto # 2. Mejoras en el aislamiento del área de despacho y en cámaras.

Las áreas de cámaras (frescos y congelados) y túneles de congelación están ubicadas al final de la nave de procesamiento, junto a los andenes de despachos. Esta área está conectada al resto de la planta por medio de un pasillo de circulación, de aproximadamente 3 m de ancho por 3 m de alto. Estas áreas son abastecidas por dos compresores: uno de tornillo de 150 HP y otro recíprocante de 125 HP. Estos compresores operan todos los días, aproximadamente entre 15 y 20 horas por día.

Los andenes de despacho consisten en 6 puertas donde se ubican los vehículos que transportan el producto terminado. El contenedor de los vehículos se acopla a las mangas de despacho, las cuales no tienen un cierre hermético y hay transferencia de calor entre el área refrigerada y la atmósfera exterior. La temperatura interna ronda los 5 °C, mientras que la temperatura exterior varía a lo largo del año entre los 20 y 32 °C.

El área procesamiento tiene un sistema de renovación de aire que genera una atmósfera negativa, succionando el aire externo desde los andenes de despacho, aumentando la transferencia de calor. Este movimiento de aire al interior de la planta es a través del pasillo que comunica las áreas internas con las cámaras de almacenamiento. La entrada a este pasillo inicialmente sólo tenía cortinas plásticas para reducir el flujo de aire y la transferencia de calor.

La operación de almacenamiento y despacho de productos ocasiona que las cortinas de las cámaras se abran y se cierren constantemente. Las cortinas instaladas inicialmente eran de cierre lento, lo que producía una mayor transferencia de calor de un espacio a otro debido a un mayor lapso de tiempo.

Una vez identificada esta problemática, se implementan mejoras en los sistemas de aislamiento con el fin de reducir la transferencia de calor entre las diferentes áreas.

Con respecto al pasillo de conexión entre las áreas, se instaló una pared hecha con paneles aislantes que reducen la transferencia de calor, de esta forma se cerró la mayor parte del pasillo, dejando únicamente una puerta para la circulación del personal. Esta puerta se mantiene cerrada y se abre únicamente cuando hay ingreso del personal. Adicionalmente, se mantuvo las cortinas plásticas en la posición previa donde se instaló la pared, para reducir el flujo de aire cuando se abra la puerta. En las cámaras se instaló cortinas plásticas de cierre rápido y en los andenes de despacho se colocó cortinas de aire. Ambos implementos reducen la transferencia de calor entre las diferentes áreas.

La implementación de estas mejoras disminuyó las horas de operación del compresor secundario y se obtuvieron los siguientes resultados:

- Consumo teórico: 1'323.777 kWh/año
- Consumo real: 950.404 kWh/año
- Ahorro obtenido: 373.373 kWh/año
- Ahorro obtenido: 37.337 USD/año

La inversión fue de 63.771 USD. Con el ahorro obtenido de forma anual, la inversión se recuperaría en 1,7 años. La tasa interna de retorno de este proyecto fue del 51%.

C. Proyecto # 3. Buenas prácticas en la gestión del agua.

En la planta no se medía la cantidad de agua que se utilizaba en las diferentes actividades. Tampoco se disponía de información para analizar el consumo de agua entre los diferentes turnos.

A fin de mejorar la gestión del agua y compararse con otras instalaciones, se instalaron medidores en la mayoría de las áreas de procesos, se eliminaron fugas, se estandarizó procesos de limpieza, se colocó pistolas ahorradoras y se redujo el diámetro de las mangueras de limpieza en determinadas áreas y se implementaron las mejores prácticas en los diferentes turnos.

La implementación de estas actividades generó los siguientes resultados:

- Consumo real: 409.008 m³/año
- Consumo teórico: 588.471 m³/año
- Ahorro obtenido: 179.464 m³/año
- Ahorro obtenido: 358.927 USD/año

La implementación de los equipos de medición, pistolas ahorradoras y reducciones en mangueras requirió de una inversión de 70.000 USD. Con el ahorro obtenido en los 4 primeros meses se recuperó el capital invertido. La tasa interna de retorno de este proyecto es del 369 %.

V. OPORTUNIDADES DE MEJORA FUTURAS (ODM)

A. ODM # 1. Incrementar la temperatura del agua de ingreso al caldero.

El agua de alimentación al caldero actualmente ingresa a una temperatura de 85 °C. El tanque de almacenamiento de agua de alimentación al caldero es un tanque tradicional, el cual se mantiene a presión atmosférica. La temperatura del agua en el caldero es de 165 °C, considerando que la presión de trabajo del caldero es de 100 psi \approx 6,9 bar.

La oportunidad de mejora planteada consiste en implementar un tanque desaireador, el cual permita elevar la temperatura del agua de alimentación a 105 °C y disminuir el gradiente de temperatura con respecto al agua que está en el caldero. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla V.

Para realizar los cálculos se considera la cantidad de calor requerido para producir una tonelada de vapor y se relaciona con la eficiencia del caldero. En este caso, se utiliza la Ec. 2:

$$Q = m \times PC \quad \text{Ec. 2 [9]}$$

Dónde:

Q = cantidad de calor requerido.
 m = cantidad de combustible requerido, expresado en unidades de masa.
 PC = poder calorífico del combustible

Tabla V. Ahorro al instalar un desaireador utilizando el cálculo en base a la generación de vapor

	Valor	Unidad	Fuente
Situación inicial para producir 1 Ton de vapor (m_1)	72,13	L	Cálculo
Situación futura para producir 1 Ton de vapor (m_2)	69,6	L	Cálculo
Ahorro potencial en cantidad (a)	2,5	L/Ton	Cálculo: $m_1 - m_2$
Ahorro potencial en % (b)	3,5%		Cálculo: a / m_1
Consumo promedio mensual (c)	42.313	gal	Datos de la planta
Ahorro mensual (d)	1.469	gal	Cálculo: $c \times b$
Costo del bunker (e)	1,2	USD/gal	Facturas de compra de combustible
Ahorro mensual (f)	1.762,70	USD	Cálculo: $d \times e$
Ahorro anual (g)	21.152,42	USD/año	Cálculo: $f \times 12$ meses

La implementación de este equipo requiere de una inversión de 52.500 USD. Se estima un ahorro anual de 21.152 USD, el tiempo de recuperación de la inversión es de 30 meses ó 2,5 años, obteniendo una tasa interna de retorno del 29 %.

B. ODM # 2. Mejoras en el aislamiento del sistema de distribución de vapor.

El sistema de distribución de vapor de la planta tiene una longitud total de 3.200 m. Está conformado por tuberías de acero al carbono y recubiertas con aislante de fibra de vidrio. En base a los recorridos realizados por la planta se identificó visualmente varios tramos de tubería donde el aislamiento está deteriorado, golpeado, parcial o totalmente suelto. Se calcula que hay 100 m aislamiento deteriorado.

Existen diferentes métodos para determinar las pérdidas de calor por aislamiento. Desde el uso de software como el 3E Plus desarrollado por la NAIMA (North American Insulation Manufacturers Association), aplicaciones web como las desarrolladas por la empresa británica Spirax – Sarco Engineering plc o la japonesa TLV, fórmulas matemáticas, tablas referenciales desarrolladas por asociaciones industriales u organismos de gobierno, entre otras.

En el presente estudio se aplicó varios métodos de cálculo a fin de determinar las pérdidas de calor: 1. Revisión bibliográfica del Artículo “Aislamiento de tuberías de vapor

y líneas de retorno de condensado” desarrollado por el Departamento de Energía de Estados Unidos [10]; 2. Cálculo mediante Ec. 3 que determina las pérdidas por convección y radiación en tuberías aisladas:

$$q = \frac{\pi (t_i - t_a)}{\frac{\ln \frac{D_1}{D_2}}{2 K_c} + \frac{1}{h_a D_1}} \quad \text{Ec. 3 [11]}$$

Dónde:

q : Cantidad de calor perdido en una tubería aislada ubicada en interiores, es decir considerando sin aire en movimiento.
 T_i : Temperatura del fluido en la tubería
 t_a : Temperatura ambiente del aire
 K_c : Coeficiente de conductividad. En este caso, se asume que la tubería carece de aislamiento, por lo que este coeficiente se convierte en el de la tubería que transporta vapor. El coeficiente de conductividad se considera para un pie de longitud.
 D_1 : Diámetro interno
 D_2 : Diámetro externo
 h_a : Coeficiente combinado de convección radiación.

3. Validación mediante aplicaciones web – página TLV. Se utilizó la página web de la empresa TLV (<https://www.tlv.com/global/LA/calculator/condensate-load-radiant-heat-loss.html?advanced=on>) donde existe una caja de herramientas (toolbox) para realizar cálculos generales. Una de las herramientas permite determinar la pérdida de calor en la tubería por radiación. Si bien no considera las pérdidas por conducción y convección, sirve como herramienta referencial para obtener una idea rápida de las pérdidas en el sistema de distribución de vapor; 4. Validación mediante aplicaciones web – página Spirax – Sarco. Se utilizó la página web de la empresa Spirax Sarco (<http://www.spiraxsarco.com/pages/home.aspx>) donde existen varias calculadoras para realizar cálculos generales. Una de las herramientas permite determinar la pérdida de calor en tuberías. Se tomó como referencia una longitud de 100 ft, la cual es mencionada en [10]. Los resultados se presentan a continuación:

- Q perdido anualmente en una tubería de 100 ft [10]: 480 MM BTU/año.
- Q perdido anualmente en una tubería de 100 ft, obtenido mediante Ec. 3: 496,6 MM BTU/año.
- Q perdido anualmente en una tubería de 100 ft, obtenido mediante aplicación web de la empresa TLV: 375,2 MM BTU/año.
- Q perdido anualmente en una tubería de 100 ft, obtenido mediante aplicación web de la empresa Spirax Sarco: 571,8 MM BTU/año.

Aplicando un criterio conservador, se considera como válido el valor obtenido mediante la ecuación 3. Las pérdidas de calor en 100 m de tubería sin aislamiento ascendieron a 1.165,1 MMBTU/año. Para determinar las pérdidas económicas y el ahorro potencial, se realizaron cálculos que se resumen en la Tabla VI:

Tabla VI. Ahorro obtenido en las mejoras del aislamiento del sistema de distribución de vapor

	Valor	Fuente
Costo del bunker (a) USD/gal	1,20	Costo actual del bunker
Cantidad de bunker para producir 1 Ton de vapor (b) Gal/ Ton vapor	19	Valor obtenido mediante cálculo en el ODM # 1 del presente estudio. Es el valor de <i>mI</i> , en la validación del cálculo de la situación actual.
Costo de producir 1 Ton de vapor (c) USD/Ton vapor	22,80	Costo (c) = a x b
Cantidad de calor requerido para 1 Ton de vapor (d) BTU/Ton vapor	2'281.400	Valor obtenido mediante tablas de vapor de Spirax – Sarco, dato de <i>Q_i</i>
Costo por MMBTU (e) USD/MMBTU	9,99	e = c / d
Total de pérdidas de calor en BTU (f) MMBTU/año	1.165,1	Considerando el valor obtenido mediante Ec. 3
Total de pérdidas de calor en USD (g) USD/año	11.643,88	g = f x e
Eficiencia del aislamiento (h)	0,90	Según la página web de Spirax Sarco, un aislamiento de 50 mm puede reducir más de un 90 % las pérdidas por transferencia de calor actuales
Ahorro anual (i) USD/año	10.479,50	i = g x h
Inversión estimada	10.000	USD
Tiempo de recuperación de la inversión	11,5	Mes
TIR	102	%

C. ODM # 3. Instalación de variadores en los motores de los cocinadores del área de rendering

En la Planta de rendering se realizan dos procesos principales, el procesamiento de plumas y el procesamiento de vísceras. Para el procesamiento de plumas existen cuatro cocinadores y cada uno posee un motor de 60 HP, mientras que para el procesamiento de vísceras existen dos cocinadores, el uno posee un motor de 60 HP y el otro posee un motor de 40 HP.

El estudio se enfocó en los motores para el procesamiento de las plumas debido a que son los de mayor potencia, mayor cantidad de equipos y mayor tiempo de operación.

El tiempo promedio de producción que dura un lote es de 14 horas. El consumo de energía por cada lote es de 500 kWh en promedio. Este valor fue obtenido mediante cálculos realizados a partir de mediciones de amperaje y tiempos de cocción y utilizando las Ec. 4 y 5.

$$Potencia\ eléctrica\ (kW) = \frac{Amp * Voltaje * \sqrt{3} * \cos\ \phi}{1000} \quad Ec.4\ [12]$$

$$Potencia\ eléctrica = \frac{32\ Amp * 460\ V * \sqrt{3} * 0,8}{1000} \quad Ec. 5[12]$$

Asumiendo que el escenario analizado muestre un comportamiento promedio de la realidad anual de la planta, se puede indicar que el consumo de electricidad anual por parte de los 4 cocinadores es de 993.049 kWh/año.

Considerando que la Planta consume anualmente 14'425.287 kWh/año, el consumo por parte de los motores de los 4 cocinadores representa el 7% del consumo eléctrico total. En términos económicos, el consumo de electricidad anual por parte de los 4 cocinadores genera un costo de 101.962 USD/año.

Los motores de los cocinadores no operan a su máxima carga y potencia constantemente, varían dependiendo de la etapa del proceso que se esté realizando.

Si bien la mayor cantidad del tiempo que dura el batch, el motor trabaja a velocidad constante y cercana a su máxima potencia, hay otras etapas en las cuales el motor trabaja a menor carga. La opción de mejora planteada se centra en reducir el consumo que se genera en estas etapas mediante la implementación de variadores de velocidad. Al utilizar variadores de velocidad, los ahorros se obtienen cuando los motores están trabajando por debajo de su máxima potencia o condición de diseño.

Para determinar el potencial de ahorro se recurrió a una cotización referencial solicitada a la empresa SIEMENS para un variador de velocidad [13]. El variador recomendado para la situación actual, es un variador SINAMICS G120, PM 240-2. El ahorro que se obtenga dependerá del porcentaje de carga al que se esté utilizando el motor tal como se muestra en la Tabla VII.

Tabla VII. Potencial de ahorro mediante la implementación de un variador de velocidad

REQUERIMIENTO O PROMEDIO ANUAL	CONSUMO SIN DRIVE			CONSUMO CON DRIVE			AHORROS Y TIEMPO RETORNO INVERSIÓN		
	CAUDAL DE AGUA O AIRE (%)	ENERGÍA ANUAL CONSUMIDA A SIN DRIVE (kWh)	COSTO ANUAL CONSUMIDA SIN DRIVE (USD)	ENERGÍA ANUAL CONSUMIDA A CON DRIVE (%)	ENERGÍA ANUAL CONSUMIDA CON DRIVE (kWh)	COSTO ANUAL CONSUMIDA CON DRIVE (USD)	PORCENTAJE DE AHORRO ANUAL CON DRIVE (%)	AHORRO ANUAL CON DRIVE (USD)	TIEMPO DE RETORNO INVERSIÓN (MESES)
100%	100%	330.353	30.723	100%	330.353	30.723	0%	0%	NO HAY
95%	100%	330.353	30.723	85%	280.800	26.114	15%	4.608	14,6
90%	100%	330.353	30.723	77%	254.372	23.657	23%	7.066	9,5
85%	95%	327.049	30.416	60%	198.212	18.434	39%	11.982	5,6
80%	98%	323.746	30.108	50%	165.176	15.361	49%	14.747	4,6
75%	97%	320.442	29.801	45%	148.659	13.825	54%	15.976	4,2
70%	96%	317.139	29.494	35%	115.624	10.753	64%	18.741	3,6
66%	95%	313.835	29.187	33%	109.016	10.139	65%	19.048	3,5
60%	93%	307.228	28.572	20%	66.071	6.145	78%	22.428	3,0
55%	92%	303.925	28.265	15%	49.553	4.608	84%	23.657	2,9
50%	88%	290.711	27.036	13%	42.946	3.994	85%	23.042	2,9
45%	85%	280.800	26.114	10%	33.035	3.072	88%	23.042	2,9
40%	83%	274.193	25.500	7%	23.125	2.151	92%	23.349	2,9
35%	78%	257.675	23.964	6%	19.821	1.843	92%	22.120	3,1
30%	74%	244.461	22.735	4%	13.214	1.229	95%	21.506	3,1
25%	73%	241.158	22.428	2%	6.607	614	97%	21.813	3,1
20%	70%	231.247	21.506	2%	6.607	614	97%	20.892	3,2
15%	69%	227.944	21.199	2%	6.607	614	97%	20.584	3,3
10%	68%	224.640	20.892	2%	6.607	614	97%	20.277	3,3

Con la Tabla VII y los porcentajes de carga del motor de cada etapa del proceso, se asignó un porcentaje de ahorro del consumo de electricidad.

El análisis del consumo energético de la etapa de calentamiento del cocinador # 1 es el siguiente:

- Consumo actual: 2.754 kWh/año
- % de carga: 47,1 (dato obtenido de la relación entre el amperaje real registrado en esa etapa y el amperaje nominal)

- % de ahorro con variador (drive): 86 % (Tabla VII). Dado que la Tabla VII no proporciona un valor exacto para el porcentaje de carga de 47,1 %, se realizó una interpolación entre los datos más cercanos. En este caso 45 y 50 %. El valor obtenido fue de 86 %.
- Consumo futuro: $2.754 - (2.754 * 0,86) = 385,56$ kWh

Repitiendo este cálculo para todas las etapas que conforman un lote de proceso, se tiene un potencial de ahorro de 122.986 kWh/año al instalar 4 variadores (uno en cada motor). Esta cantidad representa un porcentaje de ahorro del 12,4% con respecto al consumo actual.

Los resultados económicos son los siguientes:

- Ahorro anual: 12.298 USD/año.
- El costo de 4 variadores de velocidad: 25.200 USD.
- Tiempo de retorno de la inversión: 24,6 meses
- TIR: 40 %

D. ODM # 4. Optimización del uso de agua en actividades de limpieza.

El principal uso que tiene el agua en la Planta es para actividades de limpieza pudiendo llegar a representar hasta un 40 % del consumo total (104.815 m³/año).

Se recomienda como opción de mejora la adaptación de reductores de diámetro en todas las mangueras de $\frac{3}{4}$ a $\frac{1}{4}$. Adicional, la utilización de hidro-lavadoras para las actividades de limpieza en las áreas de la nave de proceso donde existe mayor consumo de agua y en algunas áreas externas.

Para determinar el potencial de ahorro de esta mejora se obtiene información de dos fuentes:

Primera fuente es instalar reductores de diámetro en algunas mangueras utilizadas para lavado. Realizar mediciones de caudal de las mangueras de $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{4}$ de pulgadas. Se obtienen los siguientes resultados:

- Manguera de $\frac{3}{4}$: 53,48 l/min
- Manguera de $\frac{1}{4}$: 31,4 l/min

La segunda fuente es obtener una cotización de máquinas hidro-lavadoras industriales que descargan chorros de agua a alta presión [14]. En esta cotización se indicaba el consumo de agua de estos equipos. La información de ambas fuentes se encuentra consolidada en la tabla VIII.

A partir de los potenciales ahorro, se determinó las áreas en las cuales es conveniente instalar los reductores de diámetro y las hidrolavadoras. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla IX.

El costo de instalar todos los reductores de diámetro es de 480 USD mientras que el costo de adquirir las hidrolavadoras es de 14.000 USD. La inversión total sería de 14.480 USD. El ahorro generado es de 99.788 USD/año, con un tiempo de recuperación de la inversión de 2 meses. El TIR es del 689 %.

17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Industry, Innovation, And Infrastructure for Sustainable Cities and Communities", 24-26 July 2019, Jamaica.

Tabla VIII. Determinación de potencial de ahorro

Consumo con manguera de $\frac{3}{4}$ sin reductor (L/min)	Consumo con manguera de $\frac{3}{4}$ con reductor a $\frac{1}{4}$ (L/min)	Consumo manguera de $\frac{3}{4}$ aplicando margen de seguridad del 30% (L/min)	Reducción (L/min)	% de reducción
53,48	31,4	40,82	12,6	23,7
Consumo con manguera de $\frac{3}{4}$ sin reductor (L/min)	Consumo con Hidrolavadoras (L/min)	Consumo con hidrolavadora aplicando margen de seguridad 30% (L/min)	Reducción (L/min)	% de reducción
53,48	16,67	21,67	31,81	59,5%

Tabla IX. Reducción del consumo de agua por instalación de reductores de diámetro e hidro-lavadoras

Área de la Planta	Consumo actual de agua para limpieza (m ³ /año)	Dispositivo a implementar	Potencial de ahorro	Consumo futuro (m ³ /año)
Matanza	5.972	Reductor	24 %	4.539
Desplumado	6.140	Reductor	24 %	4.666
Eviscerado	23.003	Hidrolavadora	60 %	9.201
Empaque y despachado	10.745	Hidrolavadora	60 %	4.298
Cámaras y despacho	1.478	Reductor	24 %	1.124
Plataforma & lavado de jaulas	21.643	Hidrolavadora	60 %	8.657
Lavado de jabas	2.318	Reductor	24%	1.762
Rendering	4.558	Reductor	24 %	3.464
Chiller	1.660	Reductor	24 %	1.262
Sala de máquinas + Casa de fuerza	9.543	Reductor	24 %	7.253
Calderos	13.327	Hidrolavadora	60 %	5.331
PTAR	4.428	Reductor	24 %	3.365
Total	104.815			54.921
Reducción en el consumo de agua (m3/año)				49.894
% con respecto al total de consumo de la planta				12
Costo del m³ (USD)				2
Ahorro económico (USD/año)				99.788

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones.

En este estudio se identificaron los principales usuarios de los diferentes recursos y las variables que influyen en su consumo. Es importante aislar los factores que distorsionan las relaciones entre consumo y producción para elaborar una línea base adecuada. Las líneas base son la clave para calcular con exactitud los ahorros obtenidos y mejorar las estimaciones futuras de consumos.

Al analizar la planta de faenamiento, se identificó que las mayores oportunidades de P+L es en el campo del consumo de agua y la gestión de la energía. Las aguas residuales, desechos y emisiones se encontraba dentro de los parámetros requeridos por la ley, por lo que no se identificó como una oportunidad de mejora.

Se desarrollaron varias actividades de P+L con los siguientes resultados: En el primer caso se redujo 179.464 m³ de agua, que significa un ahorro de 358.927 USD al año. En el segundo caso se logró una reducción de 700.000 kWh/año que significa un ahorro económico de 70.000 USD/año.

Se identificaron oportunidades adicionales de ahorro en el consumo de combustible, energía y agua. En el primer caso se encontró un potencial de ahorro de 26.360 gal/año, que equivalen a un ahorro de 31.600 USD /año. En el segundo caso, el potencial de ahorro es de 122.986 kWh/año, que se traducen en 12.300 USD/año. Finalmente, las oportunidades de mejora en la gestión del agua permitirán obtener un ahorro de 99.800 USD/año, equivalentes a ahorrar 49.900 m³/año,

Las mejoras implementadas y potenciales de P+L se traducen en beneficios tanto para el ambiente como para la empresa. La reducción de los costos operativos genera una mejora de la productividad y por ende de la competitividad. Indirectamente, mejorar la gestión de los aspectos ambientales reduce el riesgo ambiental de la empresa y por ende el riesgo global. Éste es un punto importante de la competitividad debido a que en la actualidad la mayoría de stakeholders (grupos de interés) analizan el riesgo para definir el apoyo que se brinda a una empresa: los bancos lo consideran como un factor que influye en las tasas de interés de los préstamos, los consumidores lo consideran un factor diferenciador al momento de realizar sus compras, la competencia lo considera un referente de gestión, los colaboradores se sienten más comprometidos con su trabajo, etc.

B. Recomendaciones.

1. Instalación de medidores. Al inicio del proyecto, la Planta carecía de suficientes medidores para registrar el consumo de agua. Luego de colocar algunos medidores, se logró controlar el uso excesivo de agua. Se recomienda instalar medidores en los principales equipos: Caldero de 500 BHP: Instalar medidor que registre el consumo de combustible, agua y la generación de vapor y en los Sistemas de refrigeración, motores del área de rendering y de los aireadores de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR). Instalar medidores que registren el consumo de electricidad y datos adicionales del comportamiento eléctrico de los equipos.

2. Gestión de la carga base. Al analizar los datos de consumo de electricidad se encontró que la carga base tiene una fuerte influencia sobre el consumo total de la empresa (aproximadamente un 30 % del total). Se recomienda

analizar detenidamente las causas de este consumo que se genera cuando no hay producción.

3. Continuar con el programa de cambio de motores antiguos, de baja eficiencia a unos de mayor eficiencia. Como se indicó en el estudio, el mayor gasto de un motor está en su etapa de operación debido al consumo de electricidad que éste representa. Analizando el período de vida que tienen los motores, el costo de inversión llega a ser menor al 5 % luego de 10 años de vida de un motor [15].

4. Análisis termodinámico de la Planta. A nivel termodinámico, la Planta emite calor en varios puntos y después consume electricidad para reducir la temperatura de esas emisiones. Por otro lado, existen áreas y procesos que requieren de calor y éste se lo obtiene mediante consumo de recursos (combustible y electricidad). Se recomienda hacer un balance termodinámico de la empresa y analizar la posibilidad de aprovechar el calor desperdiciado.

5. Aplicación a incentivos ambientales. La legislación ecuatoriana contempla como incentivo la Autorización Ambiental para la deducción adicional del 100 % de la depreciación de equipos y tecnología destinada a la implementación de mecanismos de producción más limpia, a mecanismos de generación de energía de fuente renovable (solar, eólica o similares) o a la reducción del impacto ambiental de la actividad productiva, y a la reducción de emisores de gases de efecto invernadero. Los proyectos desarrollados tienen este potencial que se recomienda utilizarlo.

6. Valorar los intangibles asociados a los proyectos de Producción Más Limpia. Actualmente los proyectos desarrollados han sido evaluados desde el punto de vista tradicional de ahorros directos, sin embargo, existen intangibles que no han sido analizados (como por ejemplo descargar agua más limpia que el agua de los ríos; cuidar la salud de los colaboradores, comunidades y consumidores; disminución del riesgo ambiental legal, aporte a la reducción del impacto del ciclo de vida del producto, entre otros.) Es importante visibilizar este tipo de intangibles en la evaluación de proyectos de producción mas limpia.

REFERENCIAS

- [1] MAG. (2018, 2017, 2016). *Boletín Agrícola Integral*.
- [2] CONAVE. (2015). El sector avícola en Ecuador, en crecimiento. *EKOS*.
- [3] PRO ECUADOR. (2018). *Perfil Sectorial de Agroindustria 2017*.
- [4] Porter, M. (2008). *Ser Competitivo*. Barcelona: Ediciones Deusto. Recuperado el Septiembre de 2018, de <https://books.google.com.pe/>
- [5] ONUDI. (2004). *Manual de Producción Más Limpia*.
- [6] AChEE. (2013). *Guía de Implementación de Sistema de Gestión de la Energía basada en ISO 50001*.

- [7] ONUDI. (2014). *Guía Práctica para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía*.
- [8] INEN. (2012). *Sistemas de Gestión de la Energía. Requisitos con orientación para su uso*. Quito: INEN.
- [9] Cengel Y., B. M. (2006). *Termodinámica*. México, México: Mc Graw Hill / Interamerica Editores S.A. de C.V.
- [10] U.S. Department of Energy. (2004). *Improving Steam System Performance. A sourcebook for industry*. Washington D.C.
- [11] Rodríguez, J. A. (1990). *Introducción a la Termodinámica con algunas aplicaciones de Ingeniería*. Mexico: Universidad Tecnológica Nacional. Obtenido de https://www.academia.edu/8114233/Introduccion_a_la_Termodinamica_con_aplicaciones_de_ingenieria
- [12] Gussow, M. (1985). *Fundamentos de Electricidad*. México: Mc Graw Hill.
- [13] SIEMENS. (2016). *Propuesta de eficiencia energética mediante inclusión de variador*. Guayaquil.
- [14] Karcher. (20 de Octubre de 2018). *Home Karcher Ecuador*. Obtenido de <https://www.kaercher.com/ec/professional/limpiadoras-de-alta-presion/limpiadoras-de-alta-presion-de-agua-fria/gama-superior/hd-10-25-4-s-12869070.html>
- [15] SIEMENS. (2013). *Motores*. Quito.