

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la

Producción

“Diseño e implementación de un sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro para lavado y desinfección de carcasas de pollo”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:
INGENIERAS DE ALIMENTOS

Presentada por:

Tatiana Esther Calderón Coello
Mabel Alexandra Vélez Aspiazu

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser mi fuerza espiritual.

A mis padres y hermanas por su amor y apoyo incondicional.

A mis amigos, quienes me acompañaron y me brindaron su apoyo en este camino.

A la Ing. Priscila Castillo por el acompañamiento y el tiempo dedicado.

Tatiana Esther Calderón Coello

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

A mi familia.

A la Ing. Castillo artífice de esta
consecución.

Mabel Alexandra Vélez Aspiazu

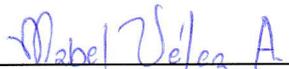
DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Tatiana Esther Calderón Coello
Mabel Alexandra Vélez Aspiazu
M.Sc. Priscila Castillo Soto

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.


Tatiana Calderón C.


Mabel Vélez A.


Directora
M.Sc. Priscila Castillo S.

RESUMEN

En las plantas faenadoras de pollo existen muchas posibilidades de contaminación de las carcasas, por ello se utilizan desinfectantes para reducir la carga microbiológica de patógenos. Actualmente, la mayoría de plantas limpian y desinfectan las carcasas aplicando manualmente soluciones de hipoclorito de sodio, desinfectante con potencial cancerígeno y de baja efectividad durante el proceso. El presente proyecto se desarrolla en una industria faenadora de pollo que procesa 15000 carcasas diarias, en la cual se propone diseñar e implementar un sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro para el lavado y desinfección de las mismas, con la finalidad de evitar la variabilidad de concentración del desinfectante usado en las etapas de lavado y desinfección.

Se definieron características, capacidades y restricciones del proceso de lavado y desinfección, para poder realizar la selección de equipos que conforman la automatización de la dosificación de solución de dióxido de cloro.

Para la validación de la sustitución del hipoclorito de sodio por dióxido de cloro se consideraron las normas: NTE INEN 1338:2010, NTE INEN 1529-5:2006, NTE INEN 1529-8:1990, NTE INEN 1529-15:2009, NTE INEN 1529-14:2009. Se hicieron pruebas con dióxido de cloro en distintas concentraciones para validar la factibilidad de la sustitución considerando la calidad microbiológica. Finalmente, se estimaron los costos que implicaría la implementación del sistema automatizado y se determinó el nuevo costo de producción del pollo fresco.

Se consideró la viabilidad del proyecto, puesto que con la implementación del sistema, el costo de producción se incrementa 0,06%, lo cual no influye significativamente sobre el PVP (kg) de pollo fresco. Los resultados microbiológicos obtenidos cumplieron con lo especificado en la NTE INEN 1338:2010, considerando concentraciones de dióxido de cloro de 5 ppm para lavado y 1 ppm para desinfección.

Palabras clave:

Carcasas de pollo, lavado, desinfección, hipoclorito de sodio, dióxido de cloro

ABSTRACT

In the chicken slaughtering industry there are many possibilities for contamination of the chicken carcasses, in consequence, disinfectants are used to reduce the microbial load of pathogens. Currently most chicken slaughterhouses clean and disinfect by applying sodium hypochlorite solutions manually, which is a carcinogenic potential disinfectant that presents low effectiveness in the process. The present project is developed in a chicken slaughtering industry, which processes 15000 carcasses daily, and its objective is to design and implement an automated dosing system of chlorine dioxide for washing and disinfecting chicken carcasses, in order to avoid the concentration variability of the disinfectant used in stages of washing and disinfection.

Features, capabilities and constraints of the processes of washing and disinfecting were defined to enable the selection of equipment that forms the automated dosing system of chlorine dioxide.

To validate the substitution of sodium hypochlorite for chlorine dioxide, the following standards were considered: NTE INEN 1338:2010, NTE INEN 1529-5:2006, NTE INEN 1529-8:1990, NTE INEN 1529-15:2009, NTE INEN 1529-14:2009. Tests using chlorine dioxide in different concentrations were developed in order to validate the feasibility of its substitution, considering the microbiological quality. Finally, the expected cost of the implementation of the automated system and the new cost of production of fresh chicken were estimated.

The project feasibility was considered, since with the system implementation, the cost of production showed a slight increase of 0.06% on, which does not influence significantly on the kg of fresh chicken retail price. The microbiological results obtained, satisfied the requirements specified in the NTE INEN 1338:2010, considering chlorine dioxide concentrations of 5 ppm and 1 ppm for washing and disinfection, respectively.

Keywords:

Chicken carcasses, washing, disinfection, sodium hypochlorite, chlorine dioxide.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
INDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Marco teórico.....	3
1.3.1 Dióxido de cloro.....	3
1.3.2 Consideraciones microbiológicas	5
1.3.3 Descripción del proceso de lavado y desinfección actual.....	5
1.3.4 Sistema automatizado de dosificación de desinfectante.....	6
CAPÍTULO 2.....	7
2. METODOLOGÍA DE DISEÑO	7
2.1. Caracterización del proceso actual de producción	8
2.2. Intervención en el proceso.....	10
2.2.1. Descripción de equipos de lavado y desinfección.....	10
2.2.2. Descripción y criterios de selección de equipos del sistema automatizado de dosificación	12
2.2.3 Descripción de auxiliares y equipos de monitoreo	20
2.3 Validación microbiológica y determinación de vida útil.....	21
2.4 Estimación de costos.....	23
CAPÍTULO 3.....	24
3. RESULTADOS	24
3.1. Propuesta de nuevo diagrama de flujo para procesamiento de aves.....	24
3.2. Selección de equipos.....	26
3.3 Resultados de la validación microbiológica y vida útil de las carcasas de pollo	39
3.3.1 Resultados de la validación microbiológica del dióxido de cloro.....	39

3.3.2 Determinación del tiempo de vida útil de las carcasas de pollo con dióxido de cloro.....	40
3.4 Resultados de la estimación de costos	41
3.4.1 Estimación de costo de inversión del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro	42
3.4.2 Estimación de costo del consumo de desinfectantes en las etapas de lavado y desinfección de carcasas de pollo	45
3.4.3 Estimación de costo de consumo de energía eléctrica del sistema automatizado de dosificación de dióxido cloro	47
3.4.4 Estimación de costo de producción de pollo fresco con la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro	49
CAPÍTULO 4.....	52
4.1. Conclusiones	52
4.2. Recomendaciones.....	54
BIBLIOGRAFÍA	
APÉNDICES	

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FAO	Food and Agriculture Organization
BPM	Buenas Prácticas de Manufactura
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
UFC	Unidades Formadoras de Colonia
ISO	International Organization for Standardization
EPA	Environmental Protection Agency

SIMBOLOGÍA

mg	Miligramo
kg	Kilogramo
TM	Toneladas
pH	Potencial de Hidrógeno
mm	Milímetro
m	Metro
°C	Grados centígrados
Gal	Galón
m ³	Metros cúbico
l	Litro
ml	Mililitro
s	Segundo
min	Minuto
h	Hora
ppm	Partes por millón
NaClO	Hipoclorito de Sodio
ClO ₂	Dióxido de Cloro

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Actividad desinfectante del cloro, bromo y dióxido de cloro a diferentes valores de pH.	3
Figura 2.1.	Metodología del diseño del proyecto	7
Figura 2.2.	Diagrama de flujo de procesamiento de aves actual	9
Figura 2.3.	Vista general del lavado de carcasas de pollo	10
Figura 2.4.	Vista general de la lavadora de carcasas de pollo	11
Figura 2.5.	(a) Vista superior del tanque del pre-chiller (b) Vista frontal del tanque pre-chiller	12
Figura 2.6.	Layout del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro en línea de agua	13
Figura 2.7.	Fotómetro	21
Figura 3.1.	Diagrama de flujo del procesamiento de aves con sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro	25
Figura 3.2.	(a) Caudalímetro M170 (b) Partes del caudalímetro M170	29
Figura 3.3.	(a) Vista general de bomba Concept Plus (b) Identificación de descripción de partes de la bomba Concept Plus	34
Figura 3.4.	Sensor de nivel de solución desinfectante del tanque	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	(a) Reducción de carga microbiana con diferentes concentraciones de dióxido de cloro; (b) Actividad fungicida con diferentes concentraciones de dióxido de cloro	4
Tabla 2.	Concentración de dióxido de cloro para lavado y desinfección de carcasas	5
Tabla 3.	Clases metrológicas de medidores de agua	15
Tabla 4.	Resistencia química del dióxido de cloro	17
Tabla 5.	Descripción de simbología usada en tabla 4	17
Tabla 6.	Características físico químicas del dióxido de cloro	18
Tabla 7.	Requisitos microbiológicos para productos cárnicos crudos	21
Tabla 8.	Especificaciones y parámetros de trabajo de medidores de agua	28
Tabla 9.	Capacidades de tipos de bombas dosificadoras ProMinent®	33
Tabla 10.	Datos técnicos de versiones de bombas Concept plus ProMinent®	35
Tabla 11.	Versiones de materiales de ensamblaje de Bomba Concept plus	35
Tabla 12.	Análisis de criterios de selección para la bomba dosificadora	36
Tabla 13.	Modelos de sensores de nivel compatibles con la bomba Concept plus	37
Tabla 14.	Validación microbiológica de muestras de carcasas de pollo con desinfectantes	40
Tabla 15.	Determinación de vida útil con diferentes desinfectantes	41
Tabla 16.	Costo de materiales y equipos para la instalación del sistema automatizado de dosificación de cloro	43
Tabla 17.	Costo de mano de obra para la instalación del sistema automatizado de dosificación de dióxido cloro	43
Tabla 18.	Costo por transporte de equipos para la instalación del sistema automatizado de dosificación de cloro	44
Tabla 19.	Costo total de la implementación del sistema automatizado de dióxido de cloro	44
Tabla 20.	Costo indirecto para la instalación del sistema automatizado de dióxido de cloro	45
Tabla 21.	Costo total de la instalación del sistema automatizado de dióxido de cloro	45
Tabla 22.	Detalle del consumo y costo del hipoclorito de sodio y dióxido de cloro para las etapas de lavado y desinfección de carcasas de pollo	46
Tabla 23.	Costo de producción de pollo fresco	49

Tabla 24.	Costos de producción de pollo fresco con la implementación del sistema automatizado	51
-----------	-------------------------------------------------------------------------------------	----

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

En una planta de procesamiento de aves existen muchas posibilidades de contaminación de las carcasas, los microorganismos provienen de su piel, patas, plumas o tracto digestivo. Las operaciones de lavado y desinfección tienen como objetivo reducir la contaminación bacteriana de las superficies internas y externas de las mismas, para ofrecer al cliente final un producto inocuo.

Los desinfectantes reducen el número de bacterias patógenas que están presentes en la canal y deben utilizarse solo como una parte de la estrategia de control de microorganismos, por lo que es necesario complementarla aplicando buenas prácticas de producción y manufactura a lo largo de toda la cadena de producción, para prevenir y disminuir la carga bacteriana (Cervantes López, 2002).

El uso de hipoclorito de sodio como desinfectante en carcasas de aves es lo más utilizado en la industria ecuatoriana. Sin embargo, su uso es muy cuestionado ya que no se garantiza siempre su efectividad, debido a que se inactiva en presencia de materia orgánica (la carcasa es materia orgánica en su totalidad) y además no resulta efectivo en amplios rangos de pH (Marriott, 2003).

Aunque el dióxido de cloro lleve la palabra “cloro” en su nombre, su composición química es distinta a la de este compuesto. No reacciona con el ácido clorhídrico por lo que no hay cloro libre. Una de sus principales ventajas, es que logra reducirse a cloruro y por lo tanto no se forman compuestos organoclorados, los cuales han sido considerados que pueden actuar como carcinogénicos.

El uso del cloro causa trihalometanos (THM) como cloroformo, bromodiclorometano y bromoformo; genera ácidos haloacéticos (HAA) y causa un rango tremendo de mutagenicidad en el agua potable como Mutágeno X (MX). Los MX, THM y HAA están ligados con el desarrollo de cáncer, abortos involuntarios y defectos de nacimiento. Mutágeno X tiene una potencia cancerígena 170 veces mayor que el cloroformo (Sanchez Zafra, 2008).

Desde 1997 el Comité de la Cadena Alimentaria y Sanidad Animal de la Unión Europea impide el ingreso de carne de pollo desinfectada con productos clorados debido a que las contaminaciones microbiológicas en las carcasas de pollo no se reducen significativamente cuando usan como desinfectante estos productos.

El resto de países ha optado por recurrir al procedimiento más económico: desinfectar las carcasas al final de la cadena de producción, generalmente con un producto a base de cloro como se realiza en Ecuador porque no existe una ley que prohíba el uso de esta gama de desinfectantes.

Actualmente la mayoría de plantas faenadoras de aves, limpian y desinfectan las carcasas de pollo aplicando manualmente productos químicos en ambas etapas (White, 1986).

Existe una alta probabilidad de que se cometan errores en la aplicación del desinfectante porque el operador puede distraerse y no realizar la dosificación correcta y/o medición oportuna en este punto crítico de control. Esto implicaría que en el proceso se maneje concentraciones variables de desinfectante, con dos posibles escenarios: exceso de concentración del desinfectante, generando una contaminación química, lo cual generaría sustancias tóxicas con potencial cancerígeno, incluso las características organolépticas del producto se verían afectadas; por otro lado, si se aplica menos desinfectante, se obtendría una desinfección deficiente, comprometiendo la inocuidad del producto.

El presente proyecto nace de la necesidad de evitar la variabilidad de concentración del desinfectante utilizado en el proceso de lavado y desinfección de las carcasas de pollo. Por lo que se propone, el diseño e implementación de un sistema automatizado de dosificación de desinfectante en dichas etapas. Considerando la sustitución del hipoclorito de sodio, por el dióxido de cloro.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro para lavado y desinfección de carcasas de pollo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el proceso de producción y sus restricciones para la adecuación del sistema con dióxido de cloro.
- Determinar parámetros de operación y restricciones del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro.
- Seleccionar los equipos adecuados para la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro.
- Determinar la factibilidad de la sustitución del hipoclorito de sodio por dióxido de cloro y sus efectos sobre la calidad microbiológica y tiempo de vida útil de las carcasas de pollo.

- Estimar los costos de la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro para una planta faenadora de pollos.
- Determinar el nuevo costo de producción del pollo fresco, considerando los gastos generados por la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro en la planta faenadora.

1.3. Marco teórico

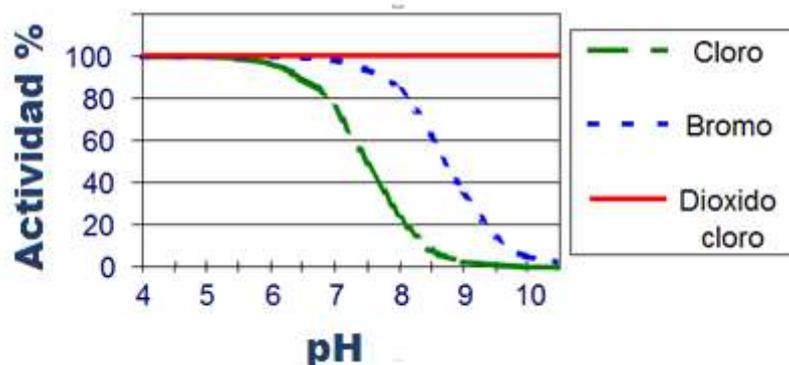
1.3.1 Dióxido de cloro

El dióxido de cloro es un gas sintético, es decir, que no se presenta de manera natural en el ambiente. Es un compuesto de color verde-amarillento y presenta un olor irritante parecido al cloro. Sin embargo, este compuesto químico es muy diferente del elemento cloro, tanto en su estructura química como en su comportamiento (Jessilynn & Wohlers, 2004).

El cloro libre puede llegar a formar trihalometanos (THM), en presencia de precursores orgánicos. Mientras que, el dióxido de cloro al reaccionar con sustancias orgánicas forma pocos compuestos organoclorados (Aieta & Berg, 1986).

El dióxido de cloro soluble en agua y por lo tanto puede pasar a través de las membranas celulares de las bacterias y eliminarlas. Una de las principales ventajas que presenta este compuesto frente al hipoclorito de sodio y a otros desinfectantes que contienen cloro, es que su acción se mantiene aún en presencia de materia orgánica y su actividad no resulta afectada por las variaciones de pH, a diferencia de otros productos químicos, como se puede observar en la *Figura 1.1*. Además, el dióxido de cloro no deja olor ni sabor residual posterior a su aplicación (Gates, 1998).

Figura 1.1. Actividad desinfectante del cloro, bromo y dióxido de cloro a diferentes valores de pH.



Fuente: Prominent Academy for water technology, 2009

En la Tabla 1 (a) y (b) se puede observar la acción biocida del dióxido de cloro sobre variedad de microorganismos, según la concentración usada y tiempo de contacto.

Tabla 1. (a) Reducción de carga microbiana con diferentes concentraciones de dióxido de cloro; (b) Actividad fungicida con diferentes concentraciones de dióxido de cloro

(a)

Microorganismos	ppm ClO₂	Tiempo de Contacto	Inactivación en %
<i>Estafilococo Aureus</i>	1	60 sec.	99.999
<i>Escherichia Coli</i>	0.15	5 min.	99.9
<i>Escherichia Coli</i>	0.25	60 sec.	>99.999
<i>Estreptococo Fecal</i>	1	15 sec.	>99.999
<i>Lactobacilos Brevis</i>	0.15	5 min.	99.9
<i>Lactobacilos Brevis</i>	1	5 min.	>99.999
<i>Pseudomonas Aeruginosa</i>	1	60 sec.	>99.999

(b)

Microorganismos	ppm ClO₂	Tiempo de Contacto	Inactivación en %
<i>Saccharomyces Cerevisiae (Levadura)</i>	0.15	10 min.	99.9
<i>Saccharomyces Diastaticus (Levadura)</i>	1	60 s.	>99.999
<i>Saccharomyces Cerevisiae (Levadura)</i>	0.5	10 min.	>99.999
<i>Saccharomyces Cerevisiae (Levadura)</i>	1	1 min.	>99.999
<i>Penicillium Expansum</i>	2	20 min.	99.999
<i>Pediococo Damnosus</i>	1	5 min.	99.999

Fuente: Prominent Academy for water technology, 2009

En la Tabla 2 que se muestra a continuación, se observa las concentraciones de dióxido de cloro establecidas por la EPA (Environmental Protection Agency) para aplicación en el lavado y desinfección de carcasas de pollo.

Tabla 2. Concentración de dióxido de cloro para lavado y desinfección de carcasas

Área de Aplicación	Formulación / EPA Reg N°	Método de Aplicación	Rango de Aplicación/ N° de Aplicación	Limitaciones de Uso
Desinfección de Carcasas de Pollo: Agua de Enfriamiento de Pollo/Aspersión de Carcasas	Concentrado Soluble 9150-2, 9150-3	Inmersión de Carcasas	0.5 a 3 ppm para el agua de enfriamiento/desinfección 70 ppm para aspersión de carcasas	Ninguna encontrada

Fuente: Reregistration Eligibility Decision for Chlorine Dioxide-Case 4023, 2006

1.3.2 Consideraciones microbiológicas

Para el desarrollo del presente proyecto, se considerarán los requisitos microbiológicos para productos cárnicos crudos, detallados en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1338:2010 (INEN 1338, 2010).

1.3.3 Descripción del proceso de lavado y desinfección actual

Dentro del procesamiento de aves, se realizan varias actividades, desde la recepción de las aves vivas, hasta el almacenamiento del producto final. Entre estas actividades, se encuentran el lavado y desinfección de las carcasas de pollo, que se realizan posterior al eviscerado.

Las carcasas pasan por una lavadora, la cual realiza la aspersión de agua con la solución de hipoclorito de sodio a presión, proceso que dura aproximadamente de 5 - 7 segundos (Cervantes López, 2002).

Luego, las carcasas pasan al pre-chiller, que posee un transportador de tornillo, en donde se realiza la desinfección y preenfriamiento. Las carcasas ingresan al pre-chiller a una temperatura de 38°C aproximadamente, posterior al tiempo de retención en el pre-chiller que dura de 25 a 30 minutos aproximadamente, las carcasas reducen su temperatura hasta los 30°C. Este proceso se realiza con agua en agitación constante, por medio del ingreso continuo de aire (Cervantes López, 2002).

La concentración residual del hipoclorito de sodio debe ser de máximo 50 ppm, en las etapas de lavado y desinfección de las carcasas.

1.3.4 Sistema automatizado de dosificación de desinfectante

El problema de realizar la dosificación de los desinfectantes de manera manual, es que la efectividad de este sistema dependerá de la experiencia o habilidad del operador y del control que se tenga al momento de realizar esta actividad. No es un sistema exacto y por lo tanto podría darse el caso de que se dosifique concentraciones del químico, mayor o menor a las requeridas.

La implementación del sistema automatizado de dosificación, reemplazaría esta operación manual y por lo tanto se evitaría la variabilidad de concentración del dióxido de cloro usado en las etapas de lavado y desinfección de las carcasas de pollo.

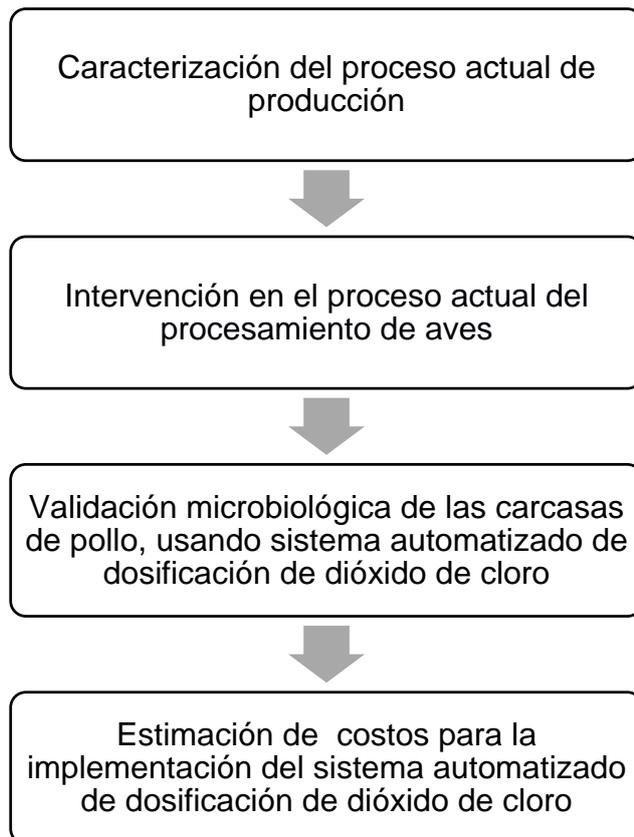
El sistema de dosificación automatizado de dióxido de cloro, consta de un caudalímetro que mide el flujo del agua de la línea a la cual se le va dosificar el desinfectante, este equipo manda una señal a la bomba para que succione solución concentrada de dióxido de cloro (2000 ppm) y pueda aplicar solución diluida para las etapas de lavado y desinfección. Siendo este un sistema que permite tener un mayor control y efectividad dentro del proceso.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DE DISEÑO

Para el diseño e implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro para una industria faenadora de pollo, propuesto en el presente trabajo final de graduación, se plantea la metodología detallada en la Figura 2.1.

Figura 2.1. Metodología del diseño del proyecto



Elaborado por: Tatiana Calderón y Mabel Vélez, 2016

- **Caracterización del proceso actual de producción:** En la primera fase, se identifica las etapas del proceso de producción del procesamiento de aves, así como sus parámetros de operación actuales utilizando hipoclorito de sodio para la desinfección de carcasas de pollo. Esta fase se concluye con la identificación de las etapas sobre las cuales se va actuar e intervenir.
- **Intervención en el proceso actual del procesamiento de aves:** Se analizará los equipos involucrados en cada una de las etapas, así como sus capacidades y restricciones. De igual manera, se deberá seleccionar y describir los equipos necesarios para la implementación del sistema automatizado de dosificación.

- **Validación microbiológica de las carcasas de pollo:** Para validar la eficacia del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro, se deberá realizar las pruebas microbiológicas necesarias para demostrar el cumplimiento con los requisitos microbiológicos establecidos para productos cárnicos crudos.
- **Estimación de costos para la implementación del sistema:** Con la selección de los equipos y materiales a usar en el sistema automatizado de dióxido de cloro, es posible estimar los costos que involucran su implementación.

2.1. Caracterización del proceso actual de producción

El estudio y análisis de resultados del presente proyecto se basará en la producción promedio de 15000 pollos faenados por día que es la cantidad que maneja en la planta faenadora en la cual se realiza el presente proyecto.

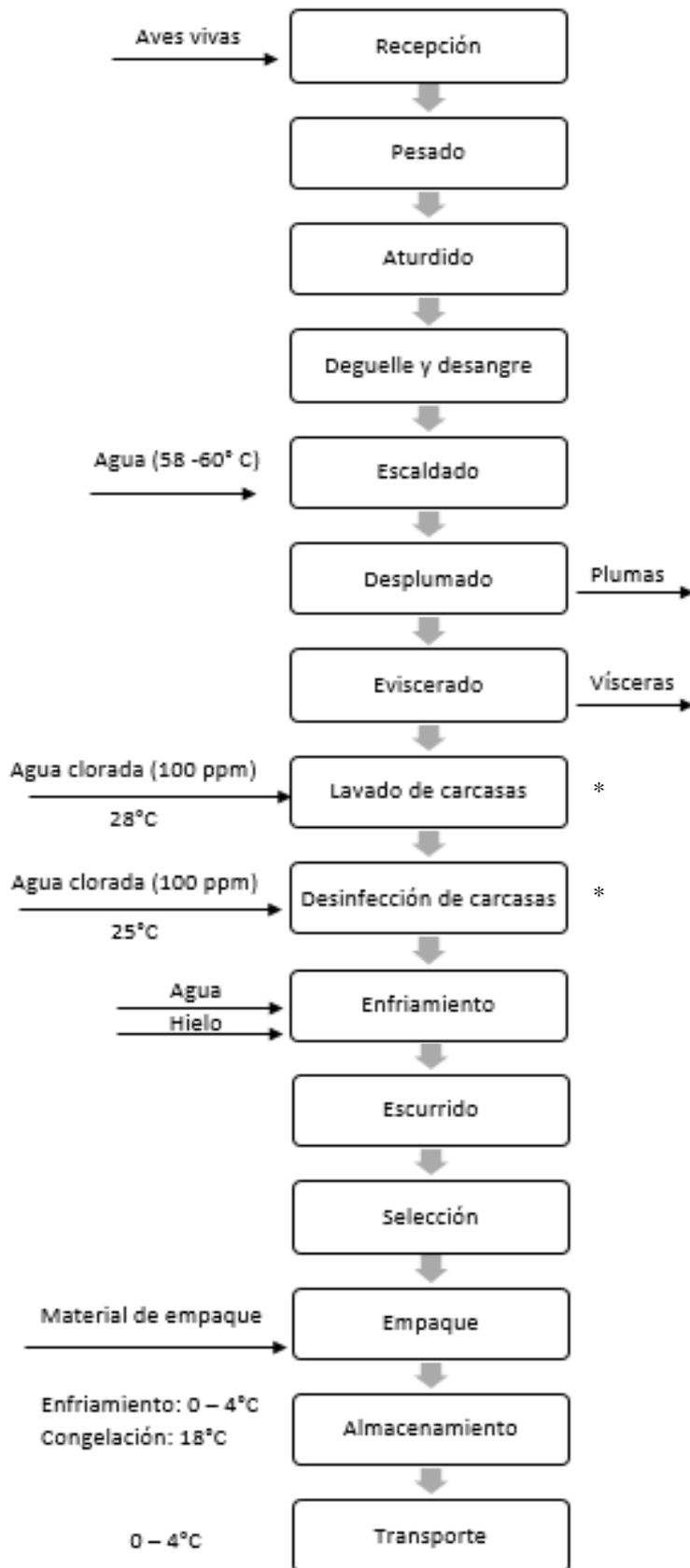
Actualmente el proceso, que se lo puede observar en el diagrama de flujo de la Figura 2.1, usa una concentración residual de hipoclorito de sodio de 100 ppm, para las etapas de lavado y desinfección de las carcasas de pollo, el cual es dosificado manualmente por los operadores.

En la etapa de desinfección, que es donde se realiza el pre enfriamiento de las carcasas de pollo, la efectividad del hipoclorito de sodio puede verse afectada por la acumulación de materia orgánica que se genera durante los 25-30 minutos del tiempo de retención de las carcasas en el pre –chiller.

El tiempo de retención se lo realiza con el fin de lograr reducir la carga microbiana de las carcasas de pollo y aumentar entre un 8 a 10% de su peso en agua, este porcentaje es parte de los 560 mililitros de pérdida de solución clorada por carcasa (Cervantes López, 2002). Para poder reponer esta pérdida, se mantiene un flujo constante de entrada de agua al pre–chiller. Además es necesario que un operador dosifique hipoclorito de sodio constantemente, para no perder la concentración de la solución desinfectante en el pre-chiller, este proceso se realiza aproximadamente cada hora.

El diseño e implementación del sistema automatizado de dosificación, se lo realizará usando dióxido de cloro en las etapas de lavado y desinfección. Cada una de estas etapas trabaja independientemente, por lo que el diseño e implementación del sistema se ajustará a las necesidades que se presentan en cada una de ellas. Los equipos a los cuales se implementará el sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro serán dos: la lavadora de carcasas y el pre-chiller, para las etapas de lavado y desinfección respectivamente.

Figura 2.2. Diagrama de flujo del procesamiento de aves actual



Elaborado por: Tatiana Calderón y Mabel Vélez, 2016

2.2. Intervención en el proceso

Para el diseño del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro se deberá tomar en cuenta las capacidades y restricciones del proceso, así como, los equipos involucrados en las etapas de lavado y desinfección de las carcasas de pollo, los cuales se manejan en la planta faenadora donde se desarrolla el presente proyecto.

2.2.1. Descripción de equipos de lavado y desinfección

Lavadora de carcasas

Su funcionamiento se basa en el lavado de las carcasas con solución desinfectante a presión. Equipada con 32 boquillas que por medio de aspersion abarcan el lavado de toda la carcasa, como se puede observar en la Figura 2.3.

Figura 2.3. Vista general del lavado de carcasas de pollo



Fuente: <http://metalurgicaalbace.com.ar/lavadora-de-pollos/>

Este equipo se utiliza luego del desplumado y eviscerado con el fin de eliminar plumas, restos de suciedad, coágulos, y otros contaminantes adheridos a la superficie de la carcasa.

Toda el agua remanente es receptada por una bandeja colectora en la parte inferior del equipo, como se puede notar en la Figura 2.4. En esta bandeja ingresa agua limpia, mientras que los residuos de grasa y plumas son eliminados por rebose. Actualmente, existe un monitorista de calidad encargado de dosificar cloro a esta bandeja y realizar la medición de cloro residual en esta etapa cada 60 minutos aproximadamente. Con la

implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro, se evitaría el desarrollo de esta actividad.

Figura 2.4. Vista general de la lavadora de carcasas



Fuente: <http://metalurgicaalbase.com.ar/lavadora-de-pollos/>

En la figura 2.3 se aprecia el interior del equipo, en donde se encuentran las carcasas colgadas en las norias (gancho de acero inoxidable para el colgado de aves) recibiendo la ducha con la solución desinfectante. Todo el proceso de lavado genera un consumo diario de 8 m³ de agua.

Pre – chiller

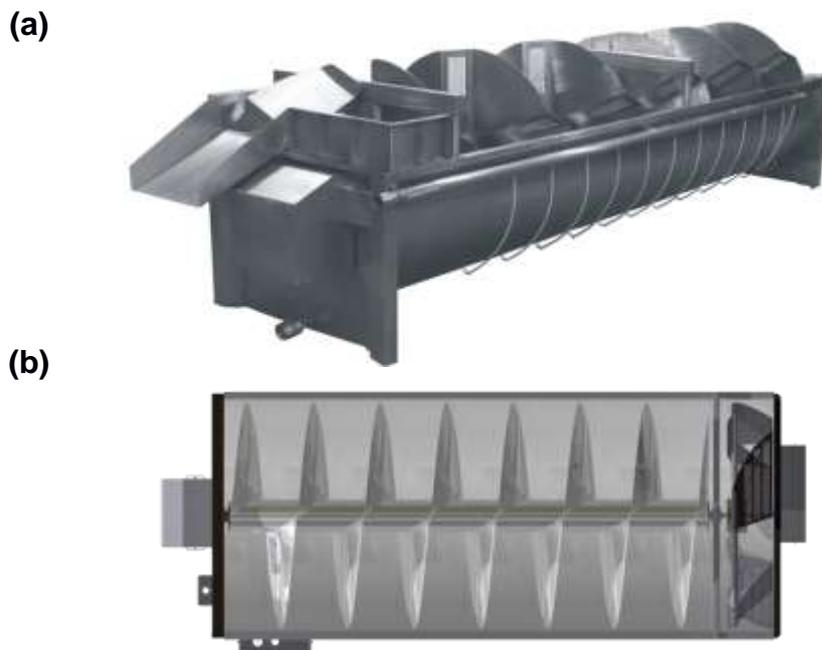
Tanque de forma circular donde se lleva a cabo la desinfección y pre-enfriamiento de las carcasas de pollo. Posee unos agitadores que generan turbulencia del agua en su interior, asegurando de esta manera, la correcta distribución de la solución desinfectante dentro del mismo.

En la Figura 2.5 (a) y (b) se muestra la vista frontal y superior del pre-chiller, en donde se puede observar que está equipado con un tornillo sin fin, al cual se le puede variar la velocidad, según se requiera. Las carcasas caen por gravedad en la parte posterior y son trasladados hacia la parte frontal por este tornillo.

Las carcasas de pollo tienen un tiempo de retención en el equipo de 25 a 30 a minutos. Al final del proceso, deben salir del pre-chiller a una temperatura máxima de 30°C, por ello, el agua con la solución desinfectante contenida en el interior del tanque, debe mantenerse a una temperatura máxima de 25°C (Cervantes López, 2002).

El equipo usado en la planta faenadora, donde se realiza el presente proyecto, tiene una capacidad de trabajo de aproximadamente 2500 aves por hora, el tanque se carga inicialmente con 9 m³ de agua. Adicional e ello, se mantiene un flujo constante de ingreso de agua al tanque, que equivale a un consumo diario de 16 m³, ya que existe una pérdida de 560 ml de agua por cada carcasa de pollo que sale del pre-chiller, además para mantener una temperatura de aproximadamente 25°C en el tanque, ingresan diariamente 6 m³ de agua proveniente del pre-chiller. Es decir, que ingresa aproximadamente 19 m³ de agua, posterior a la carga inicial del tanque.

**Figura 2.5. (a) Vista superior del tanque del pre-chiller
(b) Vista frontal del tanque prechiller**



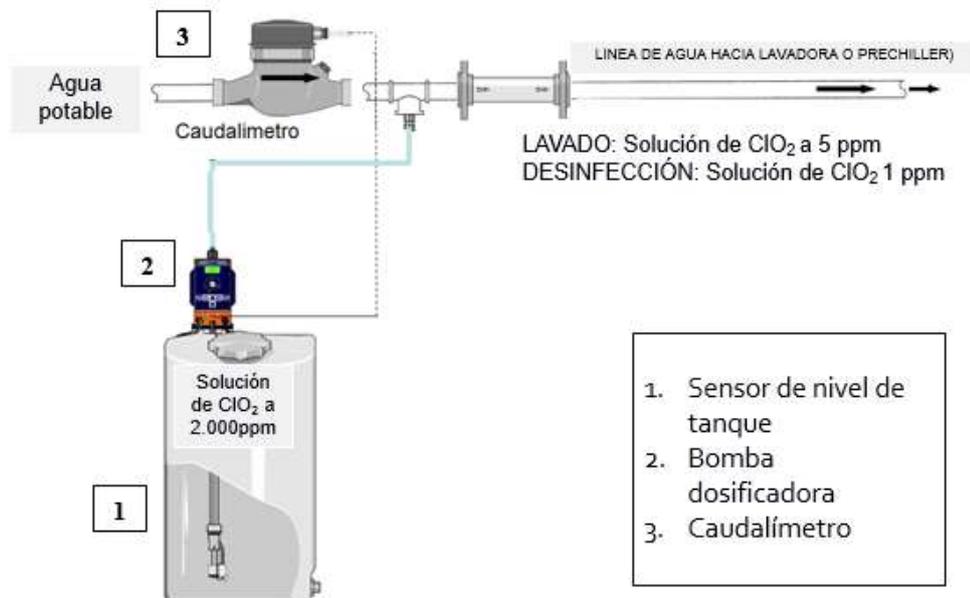
Fuente: <http://www.tekpro.com.co/pagina/enfriamiento.html>

2.2.2. Descripción y criterios de selección de equipos del sistema automatizado de dosificación

El sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro, para el lavado y desinfección de las carcasas de pollo, está compuesto por los equipos nombrados a continuación y los cuales se pueden observar en la Figura 2.6.

- A. Sensor de nivel de tanque
- B. Bomba dosificadora
- C. Caudalímetro

Figura 2.6. Layout del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro en línea de agua



Elaborado por: Tatiana Calderón y Mabel Vélez, 2016

A continuación, se detallan la descripción y los criterios de selección de los equipos mencionados anteriormente.

A.- Caudalímetro

Instrumento para medición de caudal o gasto volumétrico de líquidos. Se los conoce también como medidores de flujo o flujómetros.

Para el sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro propuesto en el presente proyecto, se requiere de un medidor de agua que trabaje vinculado a la bomba dosificadora.

Con el fin de mantener la concentración deseada de dióxido de cloro durante todo el proceso de lavado y desinfección de las carcasas de pollo, se requiere del caudalímetro para que mande una señal a la bomba para que dosifique el dióxido de cloro constantemente. Este proceso se realizará cada que el caudalímetro sense un volumen específico de agua, que pasará por la tubería de agua de la lavadora de carcasas o el pre-chiller, según sea el caso.

Para la selección del caudalímetro apropiado, es necesario conocer el proceso y características del fluido que se desea medir.

Los medidores de flujo no determinan directamente el caudal, el valor de su medición se puede basar en dos posibles relaciones:

- La primera, es la velocidad del fluido en una sección transversal de la tubería, lo cual se representa por la siguiente fórmula:

$$Q = v * A \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

$Q = \text{Caudal del fluido}$

$v = \text{Velocidad del fluido}$

$A = \text{Área de la sección transversal de la tubería}$

- La segunda, es el volumen del fluido en un tiempo específico, representado por la siguiente fórmula:

$$Q = V/t \quad (\text{Ec. 2})$$

$Q = \text{Caudal del fluido}$

$V = \text{Volumen del fluido}$

$t = \text{tiempo}$

Para el desarrollo del presente proyecto se requiere medir el flujo de agua en las líneas de agua de la lavadora de carcasas y pre-chiller, por lo cual se ha considerado el uso de un medidor básico, como lo son los hidrómetros o también llamados medidores de agua.

Estos medidores son clasificados según la ISO - 4064 en medidores Clase A, B y C. En la Tabla 3, se muestran los caudales de operación para cada una de estas clases (Technical Committee ISO, 2014).

Para mayor entendimiento de la Tabla 3, es necesario tener claro ciertos conceptos, los cuales se detallan a continuación:

- ✓ Caudal máximo (Q_{\max}): Caudal con el cual el medidor debe poder operar sin ningún inconveniente. Con este caudal, la pérdida de carga se encuentra en su límite superior. No debe superar el error máximo permitido.
- ✓ Caudal nominal (Q_n): Es la mitad del caudal máximo y es el que se usa para elegir el medidor. A este caudal, se garantiza que el instrumento trabaja ininterrumpidamente.
- ✓ Caudal de transición (Q_t): Ese el valor entre el caudal máximo y el caudal mínimo. No debe superar el error máximo permitido.

- ✓ Caudal máximo (Q_{\min}): Es el valor mínimo del caudal, al cual debe trabajar el medidor, dentro de los errores máximos permitidos

Tabla 3. Clases metrológicas de medidores de agua

			Clase A		Clase B		Clase C		
Rango	Q_n en m^3/h	$Q_{\max} = 2xQ_n$ en m^3/h	$Q_{\min} = 0.04x Q_n$ en l/h	$Q_t = 0.1x Q_n$ en l/h	$Q_{\min} = 0.02x Q_n$ en l/h	$Q_t = 0.08x Q_n$ en l/h	$Q_{\min} = 0.01x Q_n$ en l/h	$Q_t = 0.015x Q_n$ en l/h	Diámetro nominal DN
$Q_n < 15 m^3/h$	1.5	3	60	150	30	120	15	22.5	15
	2.5	5	100	250	50	200	25	37.5	20
	3.5	7	140	350	70	280	35	52.5	25
	6	12	240	600	120	480	60	90	32
	10	20	400	1000	200	800	100	150	40
Rango	Q_n en m^3/h	$Q_{\max} = 2x Q_n$ en m^3/h	$Q_{\min} = 0.08x Q_n$ en m^3/h	$Q_t = 0.3x Q_n$ en m^3/h	$Q_{\min} = 0.03x Q_n$ en m^3/h	$Q_t = 0.2x Q_n$ en m^3/h	$Q_{\min} = 0.006x Q_n$ en m^3/h	$Q_t = 0.015x Q_n$ en m^3/h	
$Q_n < 15 m^3/h$	15	30	1.2	4.5	0.45	3	0.09	0.225	50
	25	50	2	7.5	0.75	5	0.15	0.375	65
	40	80	3.2	12	1.2	8	0.24	0.6	80
	60	120	4.8	18	1.8	12	0.36	0.9	100
	150	300	12	45	4.5	30	0.9	2.25	150
	250	500	20	75	7.5	50	1.5	3.75	200
	400	800	32	120	12	80	2.4	6	250
	600	1200	48	180	18	120	3.6	9	300
	1000	2000	80	300	30	200	6	15	400
	1500	3000	120	450	45	300	9	22.5	500

Fuente: ISO 4064. Requisitos técnicos y metrológicos de medidores de agua

La selección de la clase, dependerá de que tan preciso deseemos que sea la medición. Los medidores de clase C son los de mayor exactitud, pero así mismo, su costo es elevado. Mientras que los medidores de clase A, son de menor costo, pero presentan menor precisión en sus mediciones. Para el desarrollo del presente proyecto se consideró, la selección de los medidores de la clase B, puesto que tiene un costo no tan elevado como los de clase C, y los errores en su medición son tolerables en el proceso al cual deseamos adaptarlo (Technical Committee ISO, 2014).

Para escoger la dimensión adecuada del medidor, es necesario conocer las limitaciones y demandas del proceso. Es importante tener en cuenta que los medidores de agua no deben trabajar a un caudal mayor al caudal nominal del equipo para evitar posteriores daños en su funcionamiento.

Otras características como temperatura del fluido, condiciones de instalación, son importantes pero no tienen mayor influencia sobre la selección del equipo.

B.- Bomba dosificadora

Este tipo de bombas se utilizan en procesos en los cuales se requiere tener una dosificación precisa de volumen de algún líquido en un tiempo determinado. El funcionamiento de este equipo se basa en la aspiración del volumen de líquido deseado, que es introducido a presión en la tubería de dosificación.

Para la selección de la bomba dosificadora adecuada para el sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro, se deben tomar en cuenta los siguientes criterios:

- a. Temperatura del ambiente de operación
- b. Resistencia química
- c. Información físico-química del fluido
- d. Capacidad máxima requerida
- e. Máxima presión de operación
- f. Tipo de dosificación (continua o vinculada a una señal)

El detalle de cada uno de estos criterios, se detalla a continuación:

a. Temperatura del ambiente de operación

La bomba seleccionada para el sistema propuesto en el presente proyecto, deberá operar en el rango de temperatura del área en la cual va a trabajar la bomba. Es de conocimiento, que el área en el cual se instalará el sistema automatizado de dosificación se encuentra a una temperatura de 8 -10 °C.

b. Resistencia química

Se debe conocer la naturaleza del químico y la concentración a la que se va a dosificar. Debido a que las bombas están ensambladas con distintos materiales, los cuales pueden ser o no, resistentes a determinados productos químicos.

De elegir una bomba cuyos materiales de ensamblaje no presenten resistencia química al dióxido de cloro, su funcionamiento se vería afectado puesto que se dañaría rápidamente.

En la Tabla 4 se puede observar la resistencia de ciertos materiales frente al dióxido de cloro, los cuales podrían ser parte del ensamblaje de la bomba elegida. En la Tabla 5 se detalla el significado de los símbolos usados en

la Tabla 4 (Prominent, Bombas de dosificación, componentes y sistemas de dosificación, 2015).

Tabla 4. Resistencia química del dióxido de cloro

Concentración	0.50%
Acril.: Resistencia al Acrílico	o
PVC: Resistencia al Policloruro de Vinilo	+
PP: Resistencia al Polipropileno	o
PVDF: Resistencia al Polifluoruro de Vinilideno	+
Resistencia de los aceros finos 1.4404 y 1.4571	-
FKM: Resistencia del caucho fluorado (ej., Viton® A y B)	o
EPDM: Caucho de Etileno Propileno	-
Tygon: Resistencia de Tygon® R-3603	o
PharMed: Resistencia de PharMed®	-
PE Resistencia del Polietileno	o
2.4819: Resistencia de Hastelloy C-276	+
NRA: Nivel de Riesgo para el agua	

Fuente: Instrucciones de Servicio Bomba de Dosificación Magnética
Concept Plus, 2006

Tabla 5. Descripción de simbología usada en Tabla 4

S	Saturado en solución de agua
+	Resistente
+/o	En gran medida resistente
O	Condicionamente resistente
-	No resistente
=>	Consultar
*	Para conexiones unidas, la resistencia al adhesivo (Ej. Tangit) será considerado (Materiales de tipo "o" y "-" no son recomendadas)
**	No aplica material de fibra de vidrio reforzado

Fuente: Instrucciones de Servicio Bomba de Dosificación Magnética
Concept Plus, 2006

c. Información físico-química del fluido

Es importante conocer las características físico-químicas del fluido a dosificar, ya que permite saber el comportamiento que tendrá este producto, frente ciertas condiciones. Las características físico-químicas del dióxido de cloro se detallan a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6. Características físico químicas del dióxido de cloro

Fórmula química	ClO ₂
Peso molecular	68,46 g/mol
Color	Amarillo –ocre
Olor	Sofocante y penetrante, parecido al cloro
Densidad	1117.5 Kg/m ³ en condiciones normales
Temperatura de fusión	-59°C a 1013 mbar (ClO ₂ puro)
Temperatura de ebullición	1 °C a 1420 mbar (ClO ₂ puro)
Peso molecular	68,46 g/mol
Presión de vapor a la temperatura de operación	101 KPa a 20°C
Propiedades explosivas	Puede ser explosivo bajo la influencia de una llama o chispas. A altas concentraciones se descompone por explosión.

Fuente: Hoja de seguridad dióxido de cloro. Ecros, 2014

d. Capacidad máxima requerida

Al momento de seleccionar la bomba dosificadora, es importante conocer la capacidad de trabajo de la misma, ya que la bomba seleccionada debe ser capaz de satisfacer los requerimientos del proceso al cual va a ser incorporada.

La capacidad máxima requerida de la bomba, dependerá de factores como:

- Volumen de uso diario del producto químico a dosificar.
- Valor máximo de flujo por cada pulso (dosificación proporcional)
- Tipo de operación de la bomba: dosificación controlada, dosificación esporádica o dosificación continua.

La ecuación 3 mostrada a continuación será usada para la determinación del caudal máximo requerido de la bomba dosificadora a instalar en el sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro.

$$Q_d = \frac{Q_c * C_{CO_2}}{C} \quad (\text{Ec.3})$$

Dónde:

Q_d = Caudal de dióxido de cloro a dosificar en l/h

Q_c = Caudal de agua en circulación en l/h

C_{CO_2} = Concentración a dosificar de dióxido de cloro en ppm

C = Concentración de dióxido de cloro de la solución madre en ppm

e. Máxima presión de operación

Este valor es dado por los fabricantes del equipo, se debe considerar la presión máxima de bombeo de la bomba; una vez obtenido el dato de la presión de agua de línea a la que se le va a dosificar hay que revisar que sean las mismas unidades de presión que sugiere el fabricante de la bomba o en su defecto hacer la conversión de unidades para establecer comparaciones (Prominent, Bombas de dosificación, componentes y sistemas de dosificación, 2015).

f. Tipo de dosificación

La dosificación puede ser de manera continua o vinculada a una señal, lo cual depende de si el flujo de agua es constante o variable.

La dosificación continua se da por medio de pulsos constantes predeterminados de cada bomba. Mientras que, la dosificación vinculada por señal se da cada vez que el caudalímetro sense determinado flujo de agua y mande una señal hacia la bomba.

Cuando existen variaciones en el flujo del agua se recomienda una dosificación vinculada a una señal, ya que la dosificación continua es aplicable únicamente en flujos constantes.

C.- Sensor de nivel de solución desinfectante del tanque

Dispositivo usado para el control del nivel de la solución desinfectante contenida en el tanque. Es un sensor de simple contacto, el cual genera una desconexión simultánea de la bomba de dosificación al momento de sensar el nivel mínimo de líquido desinfectante en el tanque, con el objetivo de evitar daños en la bomba dosificadora que se pueden dar debido a la succión de aire (Prominent, Float Switches, 2012).

Es importante que al momento de seleccionar el sensor de nivel de tanque se tomen en cuenta los siguientes aspectos:

- Compatibilidad con la bomba dosificadora del sistema.
- Resistencia a la concentración del producto químico en el cual se mantendrá sumergido.
- Operatividad a la temperatura del líquido en el tanque.

2.2.3 Descripción de auxiliares y equipos de monitoreo

Para monitorear la efectividad del sistema de dosificación automatizado de dióxido de cloro, existen auxiliares y dispositivos para medir la concentración residual del desinfectante en el agua, resultante del lavado y el líquido que contiene el tanque del pre –chiller.

Se recomienda el uso del fotómetro y de tirillas de medición, la aplicación de cada una de ellas se describe a continuación:

- Tirillas de medición

Una amplia gama de concentraciones se puede medir con las tirillas de dióxido de cloro. Se recomienda su uso para la medición de la concentración de dióxido de cloro, ya sea en soluciones o para medir la concentración residual en algún líquido. Las tirillas son comercializadas en botellas etiquetadas con una tabla detallada de color, en la cual se indica las concentraciones.

- Fotómetro

Es un equipo que mide la concentración de dióxido de cloro en muestras de agua, existen equipos que miden en rangos de 0 hasta 20 ppm (Prominent, Photometer, 2006).

Es un equipo portátil y de fácil manejo, que da resultados en un tiempo aproximado de un minuto. Se puede calibrar fácilmente cada vez que sea necesario. El equipo se muestra en la Figura 2.7.

Figura 2.7 Fotómetro



Fuente: <http://www.hannachile.com/productos/fotometros/>

2.3 Validación microbiológica y determinación de vida útil

La validación microbiológica se realizará posterior a la desinfección de las carcasas de pollo, usando como referencia los parámetros especificados en la NTE INEN 1338:2010, los requisitos se muestran a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7. Requisitos microbiológicos para productos cárnicos crudos

Requisito	n	c	m	M	Método de Ensayo
Aerobios mesófilos ufc/g*	5	3	$1,0 \times 10^5$	$1,0 \times 10^7$	NTE INEN 1529-5
Escherichia coli ufc/g*	5	2	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^3$	NTE INEN 1529-8
Staphilococcus aureus ufc/g*	5	2	$1,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^4$	NTE INEN 1529-14
Salmonella/25g **	5	0	ausencia	***	NTE INEN 1529-15
E.Coli O157:H7**	5	0	ausencia	***	ISO 16654

* Requisitos para determinar tiempo vida útil

** Requisitos para inocuidad del producto

Dónde:

n = número de unidades de la muestra

c = número de unidades defectuosas que se acepta

m = nivel de aceptación

M = nivel de rechazo

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1338:2010: Carne y productos cárnicos, productos cárnicos crudos, productos cárnicos curados-madurados y productos cárnicos precocidos - cocidos. Requisitos.

Inicialmente, se realizará los análisis microbiológicos respectivos, a las carcasas de pollo que han pasado por la etapa de lavado y desinfección con la solución de hipoclorito de sodio a 100 ppm.

Posterior a la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro, se realizará la validación microbiológica.

Las pruebas con dióxido de cloro a realizar, serán 3:

1. Lavado de carcasas con solución de dióxido de cloro a 5 ppm y desinfección con solución de dióxido de cloro a 1 ppm.
2. Lavado de carcasas con solución de dióxido de cloro a 10 ppm y desinfección con solución de dióxido de cloro a 1 ppm.
3. Lavado de carcasas con solución de dióxido de cloro a 15 ppm y desinfección con solución de dióxido de cloro a 1 ppm.

El diseño del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro, se lo hizo considerando en la etapa de lavado de carcasas una concentración de dióxido de cloro a 5 ppm. Sin embargo, se consideró realizar dos pruebas más, variando la concentración del dióxido de cloro en el lavado de carcasas con 10 ppm y 15 ppm, en caso de que en el análisis microbiológico de la muestra lavada con 5 ppm no se cumpla con los requisitos microbiológicos establecidos en la NTE INEN 1338:2010. De esta manera, se podría recomendar una nueva concentración de dióxido de cloro para el lavado de las carcasas de pollo.

Se consideró solamente el cambio de concentración de dióxido de cloro en la etapa de lavado de carcasas. Según la EPA, se consigue una reducción de aproximadamente el 99,99% de la carga microbiana con la aplicación de sanitizantes en esta etapa.

La toma de muestra para los análisis microbiológicos, se realizarán según lo señalado en la NTE INEN 1529-2:1999 Control Microbiológico de los Alimentos. Toma, Envío y Preparación de Muestras para el Análisis Microbiológico (INEN 1529-2, 1999).

Las pruebas microbiológicas serán realizadas en un laboratorio externo, según lo especificado en las siguientes Normas Técnicas Ecuatorianas:

- INEN 1529-5:2006 Control Microbiológico de los Alimentos. Determinación de la Cantidad de Microorganismos *Aerobios Mesófilos*. Rep (INEN 1529-6, 2006).
- INEN 1529-8 Control Microbiológico de los Alimentos. Determinación de *Coliformes Fecales* y *E. Coli* (INEN 1529-8, 1990).

- INEN 1529-15:1999 Control Microbiológico de los Alimentos. *Salmonella*. Método de Detección (INEN 1529-15, 1996).

- INEN 1529-14:1999 Control Microbiológico de los Alimentos. *Staphylococcus Aureus*. Recuento en placa de siembra por extensión en superficie (INEN 1529-14, 1998).

Es importante que para ambos casos de desinfección de las carcasas, tanto con hipoclorito de sodio, como con dióxido de sodio, se mantengan los mismos parámetros de operación, temperatura de la solución a 25°C y tiempo de retención de 25 a 30 minutos en el pre-chiller, para evitar la variabilidad en los resultados debido a estos factores.

2.4 Estimación de costos

En esta sección, se realizan todos los cálculos pertinentes a los costos que involucra la realización del presente proyecto. Este análisis comprende varias partes las cuales se detallan a continuación.

- Inicialmente se realizará la estimación de la inversión necesaria para la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro.
- Determinación del costo que se genera en las etapas de lavado y desinfección de las carcasas de pollo usando hipoclorito de sodio. Posterior a ello, se determinará el costo que se genera por el uso del dióxido de cloro con el sistema automatizado de dosificación.
- Determinación del costo que se generará por el consumo de energía eléctrica debido a la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

En el desarrollo del presente capítulo se presentan los resultados obtenidos en los puntos mencionados en el capítulo anterior.

Lo cual incluye:

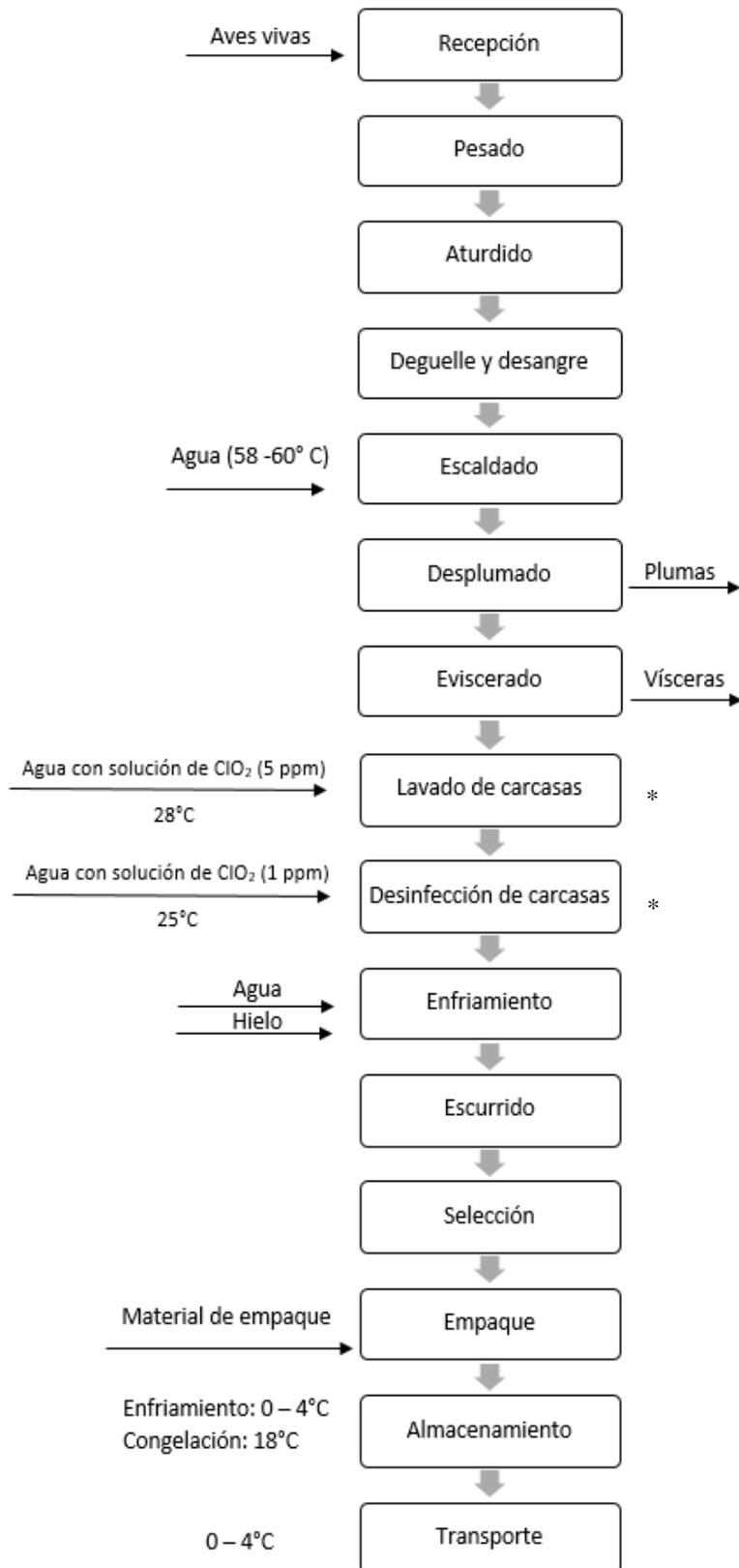
- Diagrama de flujo del procesamiento de aves con la implementación del sistema automatizado de dosificación de cloro.
- Cálculo para la selección de equipos.
- Estimación de costos generados por la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro.

3.1. Propuesta de nuevo diagrama de flujo para procesamiento de aves

El desarrollo del presente proyecto tiene como fin la implementación de un sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro. Este sistema involucra las etapas de lavado y desinfección de las carcasas de pollo con dióxido de cloro. Cabe mencionar que las temperaturas y tiempos de procesos se mantienen igual al proceso mostrado anteriormente en el Capítulo 2.

En la Figura 3.1.se muestra el diagrama de flujo del procesamiento de aves con las intervenciones realizadas en el proceso. Se manejó una concentración de dióxido de cloro de 5 ppm y 1 ppm para el lavado y desinfección respectivamente.

Figura 3.1. Diagrama de flujo procesamiento de aves con sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro



* Etapas intervenidas

Elaborado por: Tatiana Calderón y Mabel Vélez, 2016

3.2. Selección de equipos

Para la selección de equipos se consideró las recomendaciones mencionadas en la sección 2.2.2. A continuación, se detalla las características y parámetros de operación de los equipos y dispositivos seleccionados para la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro en el lavado y desinfección de las carcasas de pollo.

A. Caudalímetro

Inicialmente para poder realizar la selección del caudalímetro apropiado para el sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro, es necesario conocer los caudales aproximados que se manejan en las líneas de agua de la lavadora de carcasas y el pre-chiller.

Para estimar el valor de los caudales con los cuales se va a trabajar, se hizo uso de la ecuación 2 mencionada en el Capítulo 2.

Puesto a que se manejan distintos volúmenes de agua y tiempos de operación, se realizó los cálculos para la estimación del caudal, en dos partes: para la línea de agua de la lavadora de carcasas y para la línea de agua del pre-chiller.

✓ Caudal de la línea de agua de la lavadora de carcasas de pollo (Q_l)

Es de conocimiento que el volumen diario total que se consume en lavadora de carcasas es de 8 m^3 , en un tiempo de 7 horas que es lo que trabaja el equipo diariamente. Por lo tanto:

$$Q_l = \frac{V}{t} \quad (\text{Ec. 2})$$

Dónde:

$Q_l =$ Caudal en la línea de agua de la lavadora de carcasas de pollo

$$Q_l = \frac{8 \text{ m}^3}{7 \text{ h}}$$
$$Q_l = 1,14 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

✓ Caudal de la línea de agua del pre-chiller (Q_{pc})

En el caso del pre-chiller, es de conocimiento que se trabaja con 28 m^3 de agua al día, los cuales son desglosados de la siguiente manera:

- 9 m^3 usados de manera inicial para cargar el tanque del pre-chiller

- 13 m³ se consumen debido al flujo constante de agua que se mantiene en el equipo para mantener el nivel de agua apropiado.
- 6 m³ provienen del chiller para mantener la temperatura del agua en el tanque del pre-chiller en máximo 25°C.

En este caso, para la estimación del caudal de la línea de agua del pre-chiller se lo realizó en dos partes:

- Estimación del caudal del flujo de agua en la etapa inicial del llenado del tanque.
- Estimación del caudal del flujo de agua considerando el flujo constante que ingresa al equipo y el flujo de agua que proviene del chiller.

En ambas etapas se manejan caudales distintos de agua, ya que inicialmente para el llenado del tanque se utiliza la llave de la tubería completamente abierta y durante el resto del proceso se trabaja con la llave de la tubería media abierta.

A continuación se detalla la estimación de los caudales mencionados.

✓ Caudal inicial de llenado del tanque del pre-chiller (Q_{pc1})

Considerando que el volumen de llenado del tanque es de 9 m³ y que dicho proceso se lo realiza en un tiempo aproximado de hora y media, se obtuvo:

$$Q_{pc1} = \frac{V}{t} \quad (\text{Ec. 2})$$

Dónde:

Q_{pc1} = Caudal en la línea de agua del pre – chiller para llenado inicial

$$Q_{pc1} = \frac{9 \text{ m}^3}{1,5 \text{ h}}$$

$$Q_{pc1} = 6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

✓ Caudal promedio de trabajo del pre-chiller (Q_{pc2})

Considerando que el volumen de agua del flujo constante que ingresa al pre-chiller es de 13 m³ y que el volumen de agua que proviene del chiller es de 6 m³, en un tiempo aproximado de 6,5 horas, se obtuvo:

$$Q_{pc2} = \frac{V_t}{t} = \frac{V_1 + V_2}{t} \quad (\text{Ec.2})$$

Dónde:

Q_{pc2} = Caudal en la línea de agua del pre – chiller

V_1 = Volumen de agua diario consumido por el flujo constante

V_2 = Volumen de agua diario consumido proveniente del chiller

$$Q_{pc2} = \frac{(13 + 6) m^3}{6,5 h}$$

$$Q_{pc2} = \frac{19 m^3}{6,5 h}$$

$$Q_{pc2} = 2,92 \frac{m^3}{h}$$

Por lo tanto, para la selección del medidor de agua para la etapa de desinfección en el pre-chiller, se deben considerar los valores de Q_{pc1} y Q_{pc2} .

Una vez estimado los valores de caudales con los cuales se va a operar, se procedió a realizar la selección del tipo de caudalímetro a adoptar en el sistema. Haciendo uso de los datos expuestos en la Tabla 8 y considerando que los medidores de agua no deben trabajar a un caudal mayor al caudal nominal del equipo se seleccionó:

❖ Medidor de agua de $Q_n = 1,5 m^3/h$ para la línea de agua de la lavadora de las carcasas puesto que el caudal estimado de operación de esta línea de agua fue de $1,14 m^3/h$.

❖ Medidor de agua de $Q_n = 3,5 m^3/h$ para la línea de agua del pre-chiller, puesto que el Q_{max} de este medidor es de $7 m^3/h$ y para la etapa inicial del llenado se estimó un caudal de $6 m^3/h$, el resto del tiempo se trabajaría con un caudal de $2,92 m^3/h$. Es decir que el medidor es capaz de trabajar bajo estas condiciones.

Una vez definido el Q_n y la clase de medidor con la cual se desea trabajar se hizo uso de los catálogos de productos de la marca Elster para obtener las características técnicas de los medidores de agua a instalar en el sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro. El equipo seleccionado que se muestra en la Figura 3.2. (a).

En la Figura 3.2. (b) que se muestra a continuación se observan las partes y componentes del medidor de agua seleccionado.

**Figura 3.2. (a) Caudalímetro M170
(b) Partes del caudalímetro M170**

(a)



(b)



Fuente: Catálogo Elster, 2012. Medidores de agua.

En la Tabla 8 se muestran los datos técnicos de medidores de Clase B para tres posibles valores de Q_n : 1,5, 2,5 y 3,5. Siendo los medidores de $Q_n = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ y

3,5 m³/h los seleccionados para instalar en las líneas de agua de la lavadora de carcasas y pre-chiller respectivamente.

Tabla 8. Especificaciones y parámetros de trabajo de medidores de agua

Designación	Unidad	M170		
		15/20	20	25
Diámetro Nominal (DNI)	mm	15/20	20	25
Caudal Máximo (Qmax)	m ³ /h	3	5	7
Caudal Nominal (Qn)	m ³ /h	1.5	2.5	3.5
Caudal de Transición (Qt)	m ³ /h	0.12	0.2	0.28
Caudal Mínimo (Qmin)	m ³ /h	0.03	0.05	0.07
Temperatura de trabajo	°C	40	40	40
Pérdida de carga Máxima	m.c.a	7,2/ 2,3	7,8 / 2,3	8,0 / 2,4
Presión Máxima de Trabajo	Kg/cm ²	10	10	10
<p>— Selección de medidor para línea de agua de la lavadora de carcasas</p> <p>— Selección de medidor para la línea de agua del pre-chiller</p>				

Fuente: Catálogo Elster, 2012. Medidores de agua.

B. Bomba dosificadora

Para la selección de la bomba a instalar en el sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro, se usó los criterios de selección detallados en el Capítulo 2.

El principal criterio de selección para este equipo, es la capacidad máxima requerida que se desea que tenga la bomba seleccionada. Como se mencionó anteriormente, el sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro será instalado tanto en la etapa de lavado, como en la etapa de desinfección de las carcasas de pollo.

Anteriormente se mencionó que la función de la bomba es la de aspirar el volumen de solución de dióxido de cloro necesaria en cada etapa, e introducirlo a presión en la tubería de dosificación de la lavadora y el pre-chiller en las etapas de lavado y desinfección respectivamente.

Para el cálculo de la capacidad máxima requerida se hizo uso de la ecuación 3 expresada en el Capítulo 2. Debido a que se requiere dosificar distintas cantidades de dióxido de cloro y de que además se manejan distintos caudales en la línea de agua de la lavadora de carcasas y el en pre-chiller, los cálculos para la capacidad máxima requerida se lo debe realizar independientemente para cada etapa.

Por lo tanto, el cálculo de la capacidad máxima requerida se lo realizó en dos partes: capacidad máxima requerida de la bomba para dosificación de dióxido de cloro en lavadora de carcasas de pollo y capacidad máxima requerida de la bomba para dosificación de dióxido de cloro en pre-chiller.

A continuación se detallan los resultados obtenidos para cada etapa.

✓ **Capacidad máxima requerida de la bomba para dosificación de dióxido de cloro en lavadora de carcasas de pollo (Q_{d1})**

Considerando que el caudal en la línea de agua de la lavadora de carcasas es de 1140 l/h y que la cantidad de dióxido de cloro a dosificar es de 5 ppm, a partir de la solución madre de dióxido de cloro, se tuvo que:

$$Q_{d1} = \frac{Q_l * C_{ClO_2}}{C} \quad (\text{Ec.3})$$

Dónde:

Q_{d1} = Caudal requerido de la bomba dosificadora en la etapa de lavado

$$Q_{d1} = \frac{\left(1140 \frac{l}{h}\right) * (5 \text{ ppm})}{(2000 \text{ ppm})}$$

$$Q_{d1} = 2,85 \frac{l}{h}$$

✓ **Capacidad máxima requerida de la bomba para dosificación de dióxido de cloro en la línea de agua del pre-chiller (Q_{dpc})**

Como se indicó anteriormente, en la línea de agua del pre-chiller, se manejan dos caudales: $Q_{pc1} = 6000$ l/h para el llenado inicial del tanque del pre-chiller y $Q_{pc2} = 29223$ l/h durante del resto del proceso de desinfección. Por lo cual, para la selección de la bomba dosificadora en esta etapa, se tuvo que considerar que la bomba escogida pueda manejar ambos caudales.

En ambos casos se maneja la misma concentración de dióxido de cloro de 1 ppm, obtenido a partir de una solución madre de 2000 ppm. A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

- ✓ **Caudal requerido de la bomba dosificadora en la etapa inicial del llenado del tanque del pre-chiller:**

$$Q_{d2} = \frac{Q_{pc1} * C_{ClO_2}}{C} \quad (\text{Ec.3})$$

Dónde:

Q_{d2} = Caudal requerido de la bomba en desinfección (llenado del tanque)

$$Q_{d2} = \frac{\left(6000 \frac{l}{h}\right) * (1 \text{ ppm})}{(2000 \text{ ppm})} = 3 \frac{l}{h}$$

- ✓ **Caudal requerido de la bomba dosificadora posterior al llenado del tanque del pre-chiller**

$$Q_{d3} = \frac{Q_{pc2} * C_{ClO_2}}{C} \quad (\text{Ec.3})$$

Dónde:

Q_{d3} = Caudal requerido de la bomba en la etapa de desinfección

$$Q_{d3} = \frac{\left(2923 \frac{l}{h}\right) * (1 \text{ ppm})}{(2000 \text{ ppm})} = 1,46 \frac{l}{h}$$

En el mercado existe variedad de bombas dosificadoras, las cuales se ajustan a los requerimientos que se presentan en los distintos procesos. Para el desarrollo del presente proyecto se decidió usar los catálogos de equipos y dispositivos de la marca ProMinent®. Por lo tanto, la selección de los equipos y dispositivos para el sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro se basarán en los datos proporcionados en los catálogos por este distribuidor.

De los cálculos se obtuvo que el caudal de dosificación o capacidad requerida de la bomba es de 2,85 l/h para la etapa de lavado y para la etapa de desinfección se requiere de una bomba que pueda operar con un caudal entre 1,46 l/h y 3 l/h.

En la Tabla 9, se muestran distintos tipos de bombas dosificadoras con las capacidades de trabajo de cada una de ellas. Con la información proporcionada en esta tabla, podemos notar que la bomba Concept plus, se ajusta a los requerimientos de nuestro proceso, ya que su capacidad máxima va desde 0,74

l/h a 14,9 l/h. Por lo tanto, la bomba Concept plus es aplicable tanto para la etapa de lavado como para la etapa de desinfección, ya que la capacidad máxima requerida de la bomba para ambas etapas, se encuentra dentro de este rango de operación.

Tabla 9. Capacidades de tipos de bombas dosificadoras ProMinent®

SELECCIÓN DE BOMBAS ESTANDAR SEGÚN CAPACIDAD				
Modelos de bombas ProMinent®		Capacidad		RANGO Presión máxima (bar)
		litros/día	litros/hora	
	Concept plus	17,76 – 357,6	0,74 – 14,9	16 - 2
	Beta	17.76 – 768	0,74 - 32	2 - 25
	Alpha	12 – 734,4	1 – 30,6	10 - 2
	Gamma L	17.76 - 768	0.74 – 32	16 - 2
	Delta	180 - 1800	7,5 – 75	2 - 25

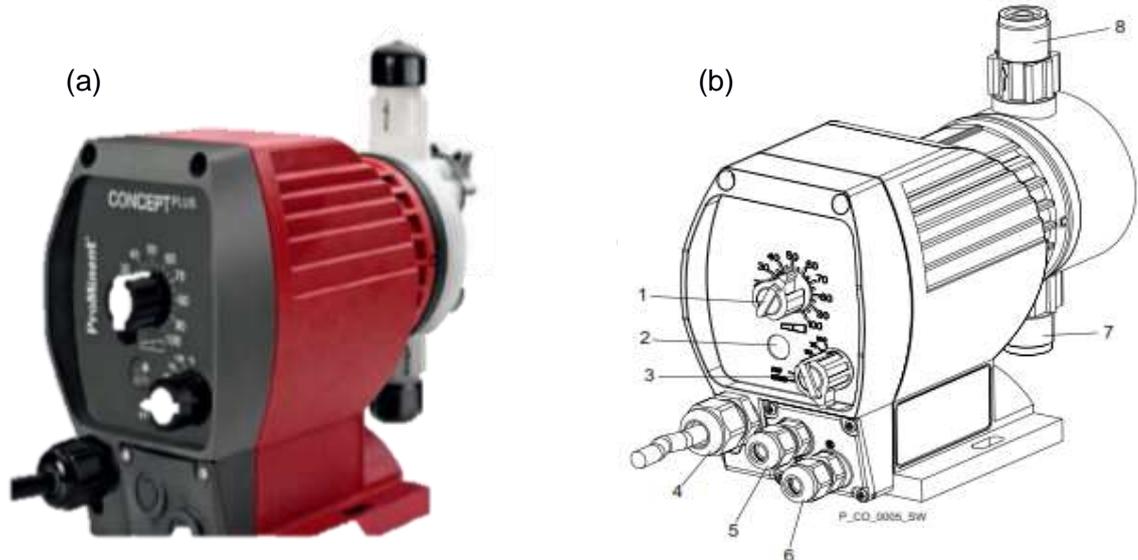
— Selección de bomba dosificadora

Fuente: ProMinent® Product Catalog. 2012.

El resto de bombas mencionadas en la Tabla 9, presentan un rango más amplio en cuanto a la capacidad del caudal con el cual pueden operar, por lo cual seleccionar cualquiera de ellas, influiría en costos innecesarios, ya que a mayor capacidad que tenga el equipo, mayor será el costo de operación del mismo.

En la Figura 3.3. (a) y (b) se puede observar la bomba dosificadora seleccionada con la identificación y descripción de sus partes.

**Figura 3.3. (a) Vista general de bomba Concept plus
(b) Identificación de descripción de partes de la bomba Concept plus**



1. Botón de ajuste de longitud de la carrera
2. Indicación de funcionamiento (rojo: fallo/ verde: funcionamiento)
3. Interruptor multifunción: frecuencia de pulso (en % de 180 a 240 pulsos/min), parada, modo de funcionamiento "externo"
4. Cable de red
5. Conexión "control externo" : aplicable solo en modo de funcionamiento "externo", control a través de una señal de contacto (Opcional)
6. Conexión "Interruptor de nivel" (Opcional)
7. Válvula de aspiración
8. Válvula de impulsión

Fuente: Instrucciones de servicio. Bomba de dosificación magnética CONCEPT plus CNPb. ProMinent®. 2006.

La bomba Concept plus viene disponible en distintas versiones. La existencia de estas versiones se debe a que presentan diferencias en cuanto a la capacidad de bombeo mínima, tamaño de conexión de la manguera y la altura de aspiración de la bomba.

En la Tabla 10 se muestran los datos técnicos de cada una de estas versiones. Con los datos expuestos en la Tabla 10, se decidió escoger la bomba Concept plus versión 1003 para la etapa de lavado de carcassas ya que la capacidad mínima de bombeo de esta versión es 2,7 l/h y por lo tanto es capaz de cumplir con el requerimiento deseado que es 2,85 l/h.

Para la etapa de desinfección se decidió escoger la versión 1601 ya que la capacidad mínima de bombeo de esta versión es 1,0 l/h y lo mínimo que se requiere bombear en esta etapa es 1,46 l/h, aun cuando en la etapa inicial del llenado del tanque del pre-chiller se requiere de 6 l/h, todas las versiones de la bomba Concept plus son capaces de operar hasta 14,9 l/h según lo mostrado en la Tabla 10, por lo tanto la versión 1601 cumple con el requerimiento deseado en la etapa de desinfección de las carcasas de pollo.

Tabla 10. Datos técnicos de versiones de bombas Concept plus ProMinent®

VERSION	Capacidad de bombeo mínima Con contrapresión máxima			Max. pulso/min	Tamaño de conexión ext. x int.	Altura de aspiración
	Bar	l/h	ml/pulso		Mm	m
1000	10	0,9	0,07	180	6x4	6
1601	16	1,0	0,10	240	6x4	6
1002	10	2,0	0,18	180	6x4	5
1003	10	2,7	0,19	180	6x4	5
0704	7	3,7	0,36	240	6x4	4
0705	7	5,2	0,36	180	6x4	4
0308	3	9,0	0,79	180	8x5	6
0215	2	14,1	1,40	180	8x5	1,5
<p>— Selección de bomba para línea de agua de la lavadora de carcasas</p> <p>— Selección de bomba para la línea de agua del pre – chiller</p>						

Fuente: ProMinent® Product Catalog. 2012.

A continuación en la Tabla 11, se muestran las versiones de los materiales de ensamblaje que puede tener la bomba Concept plus, dichos materiales deben ser seleccionados según el químico que se vaya a dosificar, es decir, que la bomba debe presentar resistencia química a la sustancia con la cual va a trabajar.

Se escogió la versión PVT ya que los materiales de esta versión son químicamente resistentes al dióxido de cloro, según se mostró previamente en la Tabla 4 del Capítulo 2.

El PTFE (Politetrafluoroetileno) mencionado en la Tabla 11, pero cuya resistencia química frente al dióxido de cloro no se menciona en la Tabla 3 del Capítulo 2, es un polímero similar al polietileno, conocido comercialmente como “Teflón” y cuyo uso está aprobado por la FDA. No reacciona con otras sustancias químicas y por lo tanto no presentaría inconvenientes en su uso con el dióxido de cloro.

Tabla 11. Versiones de materiales de ensamblaje de Bomba Concept plus

Versión de material	Cabezal Dosificador	Conexión de aspiración/impulsión	Juntas	Bolas de válvula
PPT	PP	PP	PTFE:	Cerámica
PPE	PP	PP	EPDM	Cerámica
PPB	PP	PP	FPM-B	Cerámica
NPT	Vidrio acrílico	PVC	PTFE	Cerámica
NPE.	Vidrio acrílico	PVC	EPDM	Cerámica
NPB	Vidrio acrílico	PVC	FPM-B	Cerámica
PVT	PVDF	PVDF	PTFE	Cerámica
— Material de ensamblaje seleccionado para la bomba Concept plus				

PP = Polipropileno

PVC = Policloruro de vinilo

PVDF= Polifluoruro de vinilideno

PTFE = Politetrafluoroetileno

EPDM = Etileno propileno dieno

FPM-B = Fluorelastomero

Fuente: Instrucciones de servicio. Bomba de dosificación magnética
CONCEPTplus CNPb .ProMinent®

Hasta el momento se han analizado algunos de los criterios de selección de la bomba que previamente fueron establecidos en la sección 2.2.2 En la Tabla 12 mostrada a continuación, se analizan los criterios de selección restantes que aún no han sido mencionados.

Tabla 12. Análisis de criterios de selección para la bomba dosificadora

CRITERIOS	REQUERIMIENTOS DEL PROCESO	CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA CONCEPT PLUS
Temperatura del ambiente de operación	El ambiente de operación donde será instalada la bomba se mantiene en un rango de temperatura de 8 a 10°C.	La bomba puede operar adecuadamente en ambientes de -10 a 35°C.
Tipo de dosificación	Debido a las variaciones que presenta el flujo de agua de los equipos a los cuales se implementará el sistema automatizado de dosificación, se requiere de una bomba dosificadora que trabaje vinculada a una señal.	La bomba Concept plus tiene la opción de trabajar en modo "externo". Este modo de operación permite que las pulsaciones de la bomba se den cada vez que el caudalímetro le envíe una señal, la cual se dará cada vez que se sense un volumen determinado.

Elaborado por: Tatiana Calderón y Mabel Vélez, 2016

C. Sensor de nivel de tanque de solución desinfectante

Para la selección del sensor de nivel se consideraron los siguientes tres criterios:

- ✓ Compatibilidad con la bomba dosificadora: Para cada tipo de bomba, el catálogo de productos de ProMinent® ofrece los dispositivos que son compatibles.
- ✓ Material de del sensor de nivel: Debe presentar resistencia química a la concentración de la sustancia en la que estará sumergido.
- ✓ Temperatura de operación: Se debe verificar que el sensor de nivel este diseñado para operar adecuadamente a la temperatura a la cual se encontrará la sustancia a dosificar.

Una vez seleccionada la bomba, se hizo uso del catálogo de productos de ProMinent® para observar las opciones disponibles de sensores de nivel compatibles con la bomba Concept plus.

En la Tabla 13 se observan los diferentes modelos de sensores de nivel compatibles con la bomba Concept plus, los cuales varían en cuanto a sus materiales de ensamblaje y la longitud del cable.

Tabla 13. Modelos de sensores de nivel compatibles con la bomba Concept plus

Materiales de la base, flotador y conector	Material del Cable	Longitud del cable	Modelo
Cuerpo de PP, flotador de PP de 21mm, conector plano de PP	Polietileno	6 pies/2 m	790412
Cuerpo de PP, flotador de PP de 21mm, conector plano de PP	Polietileno	15 pies/5 m	790470
Cuerpo de PVC, flotador de PP de 21mm, conector plano de PVC	Polietileno	6 pies/2 m	790414
Cuerpo de PVC, flotador de PP de 21mm, conector plano de PVC	Polietileno	15 pies/5 m	790468
Cuerpo de PVDF, flotador de PVDF de 25mm, conector plano de PVDF	Polietileno	6 pies/2 m	790416
Cuerpo de PVDF, flotador de PVDF de 25mm, conector plano de PVDF	Polietileno	15 pies/5 m	790472

PP = Polipropileno

PVDF = Polifluoruro de vinilideno

PVC = Policloruro de vinilo

— Material de ensamblaje seleccionado para la bomba Concept plus

Fuente: ProMinent® Product Catalog. 2012.

Los modelos de sensores de nivel expuestos en la Tabla 13, presentan 3 tipos de materiales: PP (Polipropileno), PVDF (Polifluoruro de vinilideno) y PVC (Policloruro de vinilo). Para realizar la selección del modelo más adecuado de sensor de nivel, fue necesario considerar la resistencia química de estos materiales frente al dióxido de cloro, que es la sustancia en la cual estará sumergido este dispositivo.

Haciendo uso de la Tabla 4 del Capítulo 2 del presente proyecto, se decidió descartar aquellos modelos de sensor de nivel cuyo material de ensamblaje sea de PVC y PP, ya que son condicionalmente resistentes al dióxido de cloro. Mientras que el PVDF sí es resistente a dicha sustancia, esto se debe a que es un fluoropolímero termoplástico que es altamente inerte químicamente, lo cual favorece para que no se deteriore ni reaccione con la solución concentrada de 2000 ppm de dióxido de cloro.

En la Figura 3.4. se puede observar el sensor de nivel seleccionado.

Figura 3.4. Sensor de nivel de solución desinfectante del tanque



Fuente: ProMinent® Product Catalog. 2012

Por lo tanto, se consideró que la selección del modelo 790416 o 790472, sería lo más adecuado, ya que el material de ensamblaje de ambos modelos es de PVDF, exceptuando el material del cable, que para todos los modelos descritos en la Tabla 13, es de polietileno.

Finalmente se seleccionó el modelo 790472, debido a la longitud que posee el cable, que es 5 de metros, para darle mayor holgura a la distancia entre el tanque y la bomba dosificadora.

Este dispositivo puede operar en un rango de 25°C a 75°C, por lo que puede trabajar sin ningún inconveniente con la solución de dióxido de cloro en el tanque, ya que esta se encuentra a temperatura ambiente.

3.3 Resultados de la validación microbiológica y vida útil de las carcasas de pollo

Para validar la factibilidad de la sustitución del hipoclorito de sodio por el dióxido de cloro nos basamos en el criterio de la calidad microbiológica que presentan las carcasas de pollo posterior al proceso de desinfección en el pre-chiller.

Además de ello, es de conocimiento que la calidad microbiológica influye en el tiempo de vida útil de las carcasas de pollo y por lo tanto fue un factor a ser considerado en el análisis de la factibilidad de la sustitución.

A continuación se detallan los resultados obtenidos:

3.3.1 Resultados de la validación microbiológica del dióxido de cloro

Se tomaron 4 muestras de carne cruda de 4 diferentes carcasas de pollo, las cuales fueron sometidas a un lavado y desinfección con hipoclorito de sodio y dióxido de cloro en distintas concentraciones y las cuales fueron codificadas de la siguiente manera.

M₁= Muestra de carne de pollo cruda correspondiente al lavado y desinfección de carcasas con solución hipoclorito de sodio a 100 ppm (proceso actual).

M₂ = Muestra de carne de pollo cruda correspondiente al lavado de carcasas con solución de dióxido de cloro a 5 ppm y desinfección con solución de dióxido de cloro a 1 ppm (proceso propuesto).

Adicionalmente, se realizaron dos pruebas más, variando la concentración de dióxido de cloro en la etapa de lavado, siendo esta la etapa donde se da la mayor reducción de carga microbiana. Durante estas pruebas, denominadas M₃ y M₄ se mantuvo la concentración de 1 ppm en la etapa de desinfección.

M₃ = Muestra de carne de pollo cruda correspondiente al lavado de carcasas con solución de dióxido de cloro a 10 ppm y desinfección con solución de dióxido de cloro a 1 ppm.

M₄ = Muestra de carne de pollo cruda correspondiente al lavado de carcasas con solución de dióxido de cloro a 15 ppm y desinfección con solución de dióxido de cloro a 1 ppm.

En la Tabla 14, se expresan los resultados microbiológicos obtenidos en los análisis de las muestras M₁, M₂, M₃ y M₄, considerando los requisitos establecidos en la NTE INEN 1338:2010.

Los resultados para las muestras M₂, M₃ y M₄ que corresponden al tratamiento de lavado con dióxido de cloro a 5, 10 y 15 ppm respectivamente se encuentran dentro del rango permitido en la NTE INEN 1338:2010.

De la Tabla 14, se puede observar que la concentración de dióxido de cloro en la etapa de lavado de 5 ppm da resultados muy similares a las concentraciones de 10 ppm y 15 ppm, con ausencia de los microorganismos patógenos y niveles bajos de los no patógenos.

Tabla 14. Validación microbiológica de muestras de carcasas de pollo con desinfectantes

CODIGO DE MUESTRA	<i>Escherichia coli</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Salmonella</i> /25 g	Aerobios mesófilos
	UFC/g	UFC /g		UFC /g
M ₁	<10	<10	Ausencia	2.6 x 10 ⁴
M ₂	<10	< 10	Ausencia	2.1 x 10 ³
M ₃	<10	< 10	Ausencia	2.0 x 10 ³
M ₄	<10	< 10	Ausencia	1.9 x10 ³

Elaborado por: Tatiana Calderón y Mabel Vélez, 2016

El propósito de realizar el análisis microbiológico fue el validar que con una concentración de 5 ppm de dióxido de cloro en el lavado y 1 ppm en la desinfección era posible disminuir la carga microbiológica que presentan las carcasas de pollo hasta un nivel aceptable y la ausencia total de microorganismos patógenos.

3.3.2 Determinación del tiempo de vida útil de las carcasas de pollo con dióxido de cloro

Para la determinación del tiempo de vida útil nos basamos en la NTE INEN 1338:2010: Carne y productos cárnicos, productos cárnicos crudos, productos

cárnicos curados-madurados y productos cárnicos precocidos - cocidos. Requisitos (INEN 1338, 2010).

Se realizaron pruebas microbiológicas a las muestras M1 y M2 por triplicado a los 8 y 14 días con el fin de determinar el tiempo de vida útil. Las muestras durante este tiempo fueron mantenidas en refrigeración a 4 °C. Los resultados microbiológicos de ambas mediciones se observan en la Tabla 15, dichos resultados estuvieron dentro de los valores permitidos en la norma NTE INEN 1338:2010 mostrada en la tabla 7 del Capítulo 2.

Actualmente se considera un tiempo de vida útil de 8 días para la carne de pollo fresca desinfectada con hipoclorito de sodio a 100 ppm. Sin embargo, en los análisis realizados a los 8 días a las muestras M1 y M2, se pudo observar que la muestra M₁ presentaba una apariencia babosa, lo cual no es agradable. Mientras que la muestra M₂ no presentó dicho aspecto.

En los análisis realizados a los 14 días, ambas muestras presentaron características de descomposición.

Tabla 15. Determinación de vida útil con diferentes desinfectantes

CODIGO DE MUESTRA	Días	<i>Escherichia coli</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Salmonella</i> /25 g	Aerobios mesófilos
		UFC/g	UFC /g		UFC /g
M1	8	<10	<10	Ausencia	3.8 x 10 ⁴
M1	14	<10	< 10	Ausencia	8.6 x 10 ⁵
M2	8	<10	<10	Ausencia	2.6 x 10 ³
M2	14	<10	< 10	Ausencia	7.9 x 10 ⁴

Elaborado por: Tatiana Calderón y Mabel Vélez, 2016

3.4 Resultados de la estimación de costos

Como se mencionó en el capítulo anterior, la estimación de costos del presente proyecto comprende varias partes:

- ✓ Estimación de la inversión necesaria para la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro.
- ✓ Estimación y comparación del costo de operación por la sustitución de hipoclorito de sodio por dióxido de cloro en las etapas de lavado y desinfección de las carcasas de pollo.
- ✓ Estimación del costo anual que se generará por el consumo de energía eléctrica de los equipos que forman parte del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro.

- ✓ Estimación del costo final de producción de pollo fresco considerando las modificaciones en los rubros de energía eléctrica e insumos de limpieza por la implementación del sistema automatizado (dióxido de cloro).

3.4.1 Estimación de costo de inversión del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro

Inicialmente, se realizó la estimación de la inversión necesaria que involucra la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro para las etapas de lavado y desinfección de carcasas de pollo. Este análisis incluye:

- Determinación de costos directos: En esta sección se incluyen los rubros por materiales y equipos, mano de obra por la instalación y costo de transporte de los equipos.
- Determinación de costos indirectos: En esta sección se incluyen rubros como costos por imprevistos que se pueden dar en la instalación del sistema.

A continuación se detalla los resultados obtenidos.

Costos directos

Los costos directos son aquellos gastos que son necesarios para que se lleve a cabo un proyecto y se presentan al inicio de la inversión. Para esta parte se consideran:

- ✓ Costo de materiales y equipos del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro.
- ✓ Costo de mano de obra para la instalación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro.
- ✓ Costos por transporte de materiales y equipos del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro.

El detalle de cada uno de estos rubros se detalla en las tablas a continuación:

Costo de materiales y equipos

En la Tabla 16 se muestra en detalle el valor de cada uno de los equipos y dispositivos que componen el sistema, tanto para la etapa de lavado, como para la etapa de desinfección.

Tabla 16. Costo de materiales y equipos para la instalación del sistema automatizado de dosificación de cloro

Denominación	Unidad	Cantidad por etapa	Precio U. (\$)	Lavado	Desinfección
				Precio T. (\$)	Precio T. (\$)
Medidor de caudal 3.5 m ³ /h	U	1	\$862.50	-	\$862.50
Bomba Concept plus 2.7 l/h	U	1	\$762.50	-	\$762.50
Medidor de caudal 1.5 m ³ /h	U	1	\$502.50	\$502.50	-
Bomba Concept plus 1 l/h	U	1	\$562.50	\$562.50	-
Sensor de nivel de tanque	U	1	\$99.00	\$99.00	\$99.00
Manguera para paso de solución	m	10	\$1.23	\$12.30	\$12.30
Soporte para instalación en pared	U	1	\$85.00	\$85.00	\$85.00
SUBTOTAL				\$1,261.30	\$1,821.30
TOTAL				\$3,082.60	

Elaborado por: Tatiana Calderón y Mabel Vélez, 2016

El costo total por materiales y equipos necesarios para la implementación de sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro es de \$3.082,60.

Costo de mano de obra

El total del costo generado por la mano de obra necesaria para la instalación del sistema automatizado de dióxido de cloro fue de \$64. Se necesita de un técnico y un ayudante para la instalación, el valor a cancelar a cada uno de ellos, es por hora de trabajo. Mayor información acerca de este rubro se detalla a continuación en la Tabla 17.

Tabla 17. Costo de mano de obra para la instalación del sistema automatizado de dosificación de dióxido cloro

Denominación	# Personas	Unidad	Cantidad	Precio U. (\$)	Precio T. (\$)
Técnico instalador	1	Hora	8	\$5.00	\$40.00
Ayudante	1	Hora	8	\$3.00	\$24.00
TOTAL				\$64.00	

Elaborado por: Tatiana Calderón y Mabel Vélez, 2016

Costo de transporte

Se consideró un valor de \$50 por costo del transporte de los equipos, como se muestra en la Tabla 18. Este es un rubro que se incluye por la movilización de los equipos hasta la planta faenadora de aves.

Tabla 18. Costo por transporte de equipos para la instalación del sistema automatizado de dosificación de cloro

Denominación	Cantidad	Precio U. (\$)	Precio T. (\$)
Movilización de equipos	1	\$50.00	\$50.00
		TOTAL	\$50.00

Elaborado por: Tatiana Calderón y Mabel Vélez, 2016

En la tabla 19 se muestra la suma de cada uno de los componentes que forman parte del costo directo de la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro, dando un total de \$3,196.60.

Tabla 19. Costo total de la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro

RUBRO	VALOR
Costos de materiales y equipos	\$3,082.60
Costos de mano de obra	\$64.00
Costo de transporte	\$50.00
TOTAL	\$3,196.60

Elaborado por: Tatiana Calderón y Mabel Vélez, 2016

Costos indirectos

Los costos indirectos son los gastos variables que se presentan en el proyecto, para lo cual sólo se consideró un rubro por imprevistos. Se asignó un 10% del total del costo directo, lo cual corresponde a un valor de \$319.66 y se lo muestra en la Tabla 20.

Tabla 20. Costo indirecto para la instalación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro

RUBRO	VALOR
Imprevistos	\$319.66
TOTAL	\$319.66

Elaborado por: Tatiana Calderón y Mabel Vélez, 2016

Costo total de la instalación del sistema automatizado de dosificación de cloro

El costo total de la instalación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro, se obtuvo de la suma de costos directos y costos indirectos, dando un total de \$3,516.26, como se puede apreciar en la Tabla 21.

Tabla 21. Costo total de la instalación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro

COSTO TOTAL	
RUBRO	VALOR
Total costos directos	\$3,196.60
Total costos indirectos	\$319.66
TOTAL	\$3,516.26

Elaborado por: Tatiana Calderón y Mabel Vélez, 2016

3.4.2 Estimación de costo del consumo de desinfectantes en las etapas de lavado y desinfección de carcasas de pollo

En la Tabla 22 se muestran los valores del costo total mensual y anual por consumo de hipoclorito de sodio y dióxido de cloro para las etapas de lavado y desinfección de las carcasas de pollo.

Tabla 22. Detalle del consumo y costo del hipoclorito de sodio y dióxido de cloro para las etapas de lavado y desinfección de las carcasas de pollo

Etapa	Desinfectante	Consumo de agua por etapa (litros/día)	Consumo de pcto (l/día)	Precio / litro	Costo mensual	Costo anual
Lavado y desinfección	NaClO (10%)	36000	36	\$0,45	\$356,40	\$4,276.80
Lavado	ClO ₂ (2000ppm)	8000	20	\$1,67	\$734,80	\$8,817.60
Desinfección	ClO ₂ (2000ppm)	28000	14	\$1,67	\$514,36	\$6,172.32

Elaborado por: Tatiana Calderón y Mabel Vélez, 2016

El detalle del costo y consumo mencionados en dicha tabla se explican a continuación.

Cálculo de costos para preparación de solución de hipoclorito de sodio (NaClO)

Durante el proceso de lavado y desinfección se usan 36000 litros de agua al día, a los cuales se les debe adicionar hipoclorito de sodio.

Se requiere preparar una solución de 100 ppm, por lo cual es necesario utilizar 1 ml de este producto por cada litro de agua que se consume en el proceso, es decir que se utiliza 36 litros de hipoclorito de sodio diariamente.

Asumiendo que la planta faenadora labora 22 días al mes, se obtuvo que el costo mensual que se genera al usar este producto, en las etapas de lavado y desinfección de las carcasas es de pollo es de \$356.40, puesto que el costo del hipoclorito de sodio es \$0.45 por litro. Con lo cual se obtiene un costo anual de \$4,276.80.

Cálculo de costos para preparación de solución de dióxido de cloro (ClO₂)

El análisis de costos para el uso del dióxido de cloro se lo realizó en dos partes. Esto se debe a que la cantidad y la concentración del dióxido de cloro a usar en las etapas de lavado y desinfección, son distintas.

El dióxido de cloro es comercializado en pastillas, ya que debe ser preparado *in situ*, al momento de su utilización. En ambos casos, se parte de una solución de 2000 ppm, a la cual se conoce como “solución madre”. Cada litro de la solución de ClO₂ tiene un precio de \$1.67.

Para la etapa de lavado, se maneja una concentración de dióxido de cloro de 5 ppm. Para lograr esta concentración, se debe usar 2,5 ml de la solución madre por cada litro de agua. Es de conocimiento, que durante todo el proceso de lavado de las carcasas de pollo, se usan 8000 litros de agua al día. Es decir que se requiere de 20 litros de solución madre de ClO₂ al día, para su aplicación en el lavado de las carcasas de pollo.

Asumiendo 22 días laborables al mes, el costo mensual que se genera por el uso del ClO₂ en la etapa de lavado es de \$734,80, lo cual representa un costo anual de \$8,817.60

Para la etapa de desinfección de las carcasas, se usa una concentración de ClO₂ de 1 ppm. Para ello, se debe usar 0,5 ml de la “solución madre” por cada litro de agua utilizada en el proceso.

Como se mencionó anteriormente, se usan 28000 litros de agua al día para el proceso de desinfección de las carcasas de pollo en el pre-chiller. Por lo tanto, son necesarios 14 litros de solución madre de ClO₂ al día.

Asumiendo 22 días laborables al mes, el costo mensual que se genera por el consumo de del ClO₂ en la etapa de desinfección equivale a \$514,36, lo cual representa un costo anual de \$6,172.32.

Sumando el costo anual del consumo de ClO₂ para las etapas de lavado y desinfección de las carcasas de pollo, se obtuvo un costo total anual de \$14,989.92. Este valor representa

Comparado con el costo obtenido haciendo uso del hipoclorito de sodio, este valor resulta 3,5 veces mayor y representa un incremento de \$10,713.12 en el rubro de suministros de limpieza.

3.4.3 Estimación de costo de consumo de energía eléctrica del sistema automatizado de dosificación de dióxido cloro

Para determinar el costo estimado de consumo de energía eléctrica demandado por el sistema automatizado de dióxido de cloro, se deben considerar todos los componentes de dicho sistema que demandan de energía eléctrica.

Tan solo la bomba dosificadora y el sensor de nivel de solución en el tanque, son los que requieren de energía eléctrica. Sin embargo, la energía eléctrica consumida por el sensor de nivel es realmente mínima y por lo tanto se decidió despreciar este valor, puesto a que realmente no es representativo.

Para la determinación del costo anual por consumo de energía eléctrica se hizo uso de la siguiente ecuación:

$$C = P \times Horas \times 12 \times Costo kWh \quad (Ec.4)$$

Dónde:

C = Costo anual por consumo de energía eléctrica

P = Potencia diaria que demanda el equipo en kW

Horas = Horas de trabajo del equipo al día

$$\text{Costo kWh} = \text{Precio del kWh en } \frac{\text{ctvs}}{\text{kWh}}$$

Las potencias demandadas por las bombas dosificadoras, se las tomó del manual de operación del equipo.

La versión de la bomba seleccionada para la etapa de lavado tiene un promedio de potencia nominal de 18,8 W a la cual se denominará P₁. La versión de la bomba seleccionada para la etapa de desinfección de carcasas tiene un promedio de potencia nominal de 13,85 W y se la denominará P₂.

Debido a que se las bombas dosificadoras se usan en distintas etapas y el tiempo de uso diario de cada una de ellas es diferente, el cálculo del costo por consumo de energía eléctrica se hará independiente para cada una de ellas.

Sustituyendo los valores de las potencias nominales en la ecuación 4 se obtuvieron los costos anuales por consumo de energía eléctrica. El costo anual generado por la bomba en la etapa de lavado y en la etapa de desinfección, se han denominado C₁ y C₂ respectivamente.

$$C_1 = P_1 \times H \times 12 \times \text{Costo kWh} \quad (\text{Ec.4})$$

$$C_1 = (0,01385 \text{ kW}) \times \left(\frac{7 \text{ h}}{\text{día}} \times \frac{22 \text{ días}}{\text{mes}} \right) \times 12 \text{ meses} \times \left(\frac{\$ 0,08}{\text{kWh}} \right)$$

$$C_1 = \$ 2,05$$

(Ec.4)

$$C_2 = P_2 \times H \times 12 \times \text{Costo kWh}$$

$$C_2 = (0,0108 \text{ kW}) \times \left(\frac{8 \text{ h}}{\text{día}} \times \frac{22 \text{ días}}{\text{mes}} \right) \times 12 \text{ meses} \times \left(\frac{\$ 0,08}{\text{kWh}} \right)$$

$$C_2 = \$1,82$$

Sumando los valores de C₁ y C₂ se obtuvo el costo total anual del consumo de energía eléctrica generado por ambas dosificadoras dando como resultado:

$$CT = C_1 + C_2$$

$$CT = \$2,05 + \$1,82$$

$$CT = \$3,87$$

3.4.4 Estimación de costo de producción de pollo fresco con la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro

Para el desarrollo de esta sección, fue necesario estimar inicialmente, el costo de producción actual del pollo fresco. Se consideró una producción anual de 7920 TM de pollo faenado, con lo cual se obtuvo un costo de producción de \$18,320.772.60, este valor corresponde al costo que se genera con el proceso actual de lavado y desinfección de las carcasas de pollo haciendo uso del hipoclorito de sodio.

Asumiendo una utilidad del 25%, el PVP obtenido por kg de pollo fresco, fue de \$3,29. Mayor descripción de cada uno de los rubros que influyen en la obtención del PVP, se muestran en la Tabla 23 y en los Apéndices (A-J).

Tabla 23. Costos de producción de pollo fresco

PRECIO DEL PRODUCTO	
COSTO DIRECTO	
MATERIAS PRIMAS Y MATERIAL DIRECTO	\$ 16.473.600,00
MANO DE OBRA DIRECTA	\$ 395.280,00
COSTO INDIRECTO	
MATERIALES INDIRECTOS	\$ 237.600,00
MANO DE OBRA INDIRECTA	\$ 276.075,00
SUMINISTROS Y SERVICIOS	\$ 438.840,00
DEPRECIACIÓN	\$ 125.000,00
REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO	\$ 14.500,00
SEGUROS	\$ 22.500,00
IMPREVISTOS	\$ 337.377,60
COSTOS DE PRODUCCIÓN	\$ 18.320.772,60
GASTOS DE ADMINISTRACIÓN	\$ 1.024.650,00
GASTOS DE VENTAS	\$ 874.164,00
GASTOS FINANCIEROS	\$ 600.000,00
COSTO TOTAL	\$ 20.819.586,60
UTILIDAD	25,0%
PVP (kg)	\$ 3,29

Elaborado por: Tatiana Calderón y Mabel Vélez, 2016

En el desarrollo de esta sección, se desea demostrar en que porcentaje se vería afectado el costo de producción del kg de pollo fresco, con la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro.

Para la estimación del nuevo costo de producción de pollo fresco que se generaría con la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro, se consideraron aumentos en el rubro de servicios y suministros, ya que es aquí donde se incluyen los costos por el consumo de energía eléctrica que demandan los equipos que comprenden el sistema automatizado de dióxido de cloro y el costo por el consumo de este químico para las etapas de lavado y desinfección de las carcasas de pollo.

En la sección 3.4.2 se detalló el costo que se genera con el consumo de dióxido de cloro para las etapas de lavado y desinfección de las carcasas de pollo, dando un costo total anual de \$14,989.92.

En la sección 3.4.3 se estimó un costo total anual de \$3,87 por consumo de energía eléctrica que demandan los equipos del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro, que básicamente correspondía a las bombas dosificadoras, puesto que el consumo de energía eléctrica demandada por los demás equipos era baja y por lo tanto se lo consideró despreciable.

Si bien es cierto, con la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro, se elimina una mano de obra que corresponde al operador encargado de realizar las dosificaciones periódicas del desinfectante. Sin embargo, considerando los demás rubros, este valor es tan bajo, que se consideró despreciable y por lo tanto no se lo incluyó en el presente análisis.

En la Tabla 24 se muestra el nuevo costo de producción del pollo fresco, considerando el cambio en el rubro de servicios y suministros. El valor obtenido fue de \$449,557.66, lo cual se ve reflejado en un aumento en el costo producción dando un total de \$18,331.860.17.

Comparando el nuevo valor del costo de producción con el valor obtenido anteriormente, se observa de un aumento de \$11,087.57 anuales, lo cual representa un incremento del 0,06% en el costo de producción de pollo fresco. Debido a que el incremento es tan bajo, el costo por la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro, no influye realmente en el PVP del kg de pollo fresco, ya que se mantuvo en \$3,29.

Tabla 24. Costos de producción de pollo fresco con la implementación del sistema automatizado

PRECIO DEL PRODUCTO	
COSTO DIRECTO	
MATERIAS PRIMAS Y MATERIAL DIRECTO	\$ 16.473.600,00
MANO DE OBRA DIRECTA	\$ 395.280,00
COSTO INDIRECTO	
MATERIALES INDIRECTOS	\$ 237.600,00
MANO DE OBRA INDIRECTA	\$ 276.075,00
SUMINISTROS Y SERVICIOS	\$ 449.557,66
DEPRECIACIÓN	\$ 125.308,26
REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO	\$ 14.530,83
SEGUROS	\$ 22.530,83
IMPREVISTOS	\$ 337.377,60
COSTOS DE PRODUCCIÓN	\$ 18.331.860,17
GASTOS DE ADMINISTRACIÓN	\$ 1.024.650,00
GASTOS DE VENTAS	\$ 874.164,00
GASTOS FINANCIEROS	\$ 600.000,00
COSTO TOTAL	\$ 20.830.674,17
UTILIDAD	25,0%
PVP (kg)	\$ 3,29

Elaborado por: Tatiana Calderón y Mabel Vélez, 2016

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Conclusiones

- Se logró realizar satisfactoriamente el diseño e implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro, aplicable en las etapas de lavado y desinfección de carcasas de pollo, tomando como referencia las capacidades de proceso manejadas en una planta faenadora de aves de la ciudad de Guayaquil.
- Se logró determinar las capacidades de operación de los equipos involucrados en las etapas de lavado y desinfección de las carcasas de pollo. Se estableció que la dosificación del dióxido de cloro, dependerá del flujo de la línea de agua que se maneje tanto en la lavadora de carcasas como en el pre-chiller.
- Se logró determinar el caudal máximo en las líneas de agua, el cual fue de 1,4 m³/h para la lavadora de carcasas y caudal 2,92 m³/h y 6 m³/h para pre-chiller. Por ello, se seleccionaron medidores de flujo de $Q_n = 1,5$ y $Q_n = 3,5$, para su aplicación en las líneas de agua de la lavadora de carcasas y del pre-chiller respectivamente.
- Se determinó que la capacidad máxima requerida por la bomba dosificadora es de 2,85 l/h para la etapa de lavado y de 1,46 l/h a 3 l/h para la etapa de desinfección de las carcasas de pollo en el pre-chiller.
- Tanto para la etapa de lavado como para la etapa de desinfección, se escogieron bombas dosificadoras del tipo Concept plus marca ProMinent®, puesto que su capacidad de trabajo está en un rango de 0,74 l/h a 14,9 l/h. Sin embargo, se seleccionaron distintas versiones de este tipo de bomba, puesto que difieren en la capacidad de bombeo mínima. Para la etapa de lavado se seleccionó una bomba con capacidad de bombeo mínima de 2.7 l/h y para la etapa de desinfección una bomba con capacidad de bombeo mínima de 1,0 l/h.
- Se seleccionó un sensor de nivel de marca ProMinent® con cuerpo de PVDF, flotador de PVDF y cable de PE ya que es compatible con la bomba Concept plus, cuyo material de ensamblaje es resistente al dióxido de cloro y puede operar adecuadamente con la solución de dióxido de cloro que se encuentra a 25°C, ya funciona adecuadamente en condiciones de temperaturas de 25 a 75°C.
- Fue posible determinar la factibilidad de la sustitución del hipoclorito de sodio por el dióxido de cloro para su aplicación en el proceso de lavado y desinfección de las carcasas de pollo, puesto que los análisis microbiológicos obtenidos de la

muestras M₂, M₃ y M₄, cumplieron con los requisitos microbiológicos establecidos en la norma NTE INEN 1338:2010: Carne y productos cárnicos, productos cárnicos crudos, productos cárnicos curados-madurados y productos cárnicos precocidos – cocidos.

- Se evidenció que el tiempo de vida útil de la carne de pollo fresca puede verse afectada por la presencia de aerobios mesófilos. Para la muestra M₁ se reportó $3,8 \times 10^4$ UFC/g a los 8 días y $8,6 \times 10^5$ UFC/g a los 14 días, mientras que para la muestra M₂ se reportó $2,6 \times 10^3$ UFC/g a los 8 días y $7,9 \times 10^4$ UFC/g a los 14 días. Estos resultados se vieron reflejados en las características organolépticas de las muestras, puesto que a los 8 días, la muestra M₁ presentaba una apariencia babosa, lo cual no se observó en la muestra M₂, a los 14 días ambas muestras presentaban ya características de descomposición.
- Los parámetros del diseño del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro fueron realizados considerando el uso de este químico en concentraciones de 5 ppm para la etapa de lavado y 1 ppm para la etapa de desinfección. Tomando en cuenta los resultados microbiológicos obtenidos de la muestra M₁, se concluye que es factible el uso de estas concentraciones para el proceso de lavado y desinfección de las carcasas de pollo.
- El conjunto de equipos que conforman el sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro están valorados en \$1.261,30 y \$1.821,30 para las etapas de lavado y desinfección, respectivamente. La diferencia entre estos valores se debe a que las capacidades de operación de la bomba dosificadora y del caudalímetro son distintas y por lo tanto sus costos son diferentes.
- Se logró estimar un costo total de \$3,516.26 para la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro en las etapas de lavado y desinfección de las carcasas de pollo.
- Se evidenció que la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro no demanda un elevado consumo de energía eléctrica, puesto que el promedio de la potencia nominal demandado por cada una de las bombas es de 18,8 W kW para la etapa de lavado y 13,85 W para la etapa de desinfección. Dichas potencias son bastante bajas y representarían un costo anual de \$3,87.
- Se estimó que el costo total por el consumo del dióxido de cloro es 3,5 veces mayor al hipoclorito de sodio, lo cual representaría un aumento de \$10,713.12 anuales. Sin embargo, se logró demostrar que el costo de producción de pollo fresco no varía significativamente con la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro, puesto que el incremento en el costo de producción fue de 0,06%, el cual no afecta al PVP por kg de pollo fresco.

4.2. Recomendaciones

- Es importante tener en cuenta que se deben tomar las medidas de seguridad necesarias para el manejo del dióxido de cloro o cualquier producto clorado. Se recomienda que el personal cuente con los equipos de protección personal (mascarillas, gafas y guantes) para evitar inhalar los gases que se generan al momento de la preparación de la solución del dióxido de cloro u otro posible incidente que se pueda generar durante la preparación del mismo.
- Para la preparación del dióxido de cloro, se recomienda usar la versión en pastillas, las cuales son comercializadas en empaque aluminizados para preservarla del ambiente. Se debe añadir lentamente el contenido del empaque en la cantidad apropiada de agua. Se debe usar un recipiente oscuro y hermético, preparada la solución se debe cerrar rápido y fuertemente, para evitar escapes del mismo hacia el ambiente.
- Se debe asegurar que el dióxido de cloro se disuelva en agua potable, a una temperatura máxima de 40°C.
- Se recomienda realizar una prueba piloto de la implementación del sistema automatizado de dosificación de dióxido de cloro, previo a la adquisición de los equipos. Para asegurar que con las capacidades de trabajo de los equipos recomendados se logra llegar a las concentraciones deseadas de dióxido de cloro.
- Se recomienda que para la medición de soluciones con dióxido de cloro contaminadas con materia orgánica se utilicen tirillas de medición. No se recomienda el uso del fotómetro en este caso, puesto que este equipo funciona por colorimetría y no puede realizarse la lectura en líquidos turbios.

BIBLIOGRAFÍA

Aieta, M., & Berg, J. (1986). A Review of Chlorine Dioxide in Drinking Water Treatment. *American Water Works Association*, 62-72.

Cervantes López, E. (2002). *El pollo, paso a paso. Procesamiento Industrial*. Barranquilla, Colombia: Ediciones Científicas Beta E.U.

Gates, D. (1998). *The Chlorine Dioxide Handbook*. Pennsylvania: American Water Works Association.

INEN 1338,2010. (2010). NTE INEN 1338:2010. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 7.

INEN 1529-14,1998. (1998). NTE INEN 1529-12:1998. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 1-8.

INEN 1529-15, 1996. (1996). NTE INEN 1529-15:1996. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 1-17.

INEN 1529-2, 1999. (1999). NTE INEN 1529-2:1999. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 1-17.

INEN 1529-6, 2006. (2006). NTE INEN 1529:2006. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 1-5.

INEN 1529-8, 1990. (1990). NTE INEN 1529-8:1990. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 1-6.

Jessilynn, T., & Wohlers, D. (2004). *Toxicological Profile For Chlorine Dioxide and Chlorite*. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

Marriott, N. (2003). *Principios de Higiene Alimentaria*. Zaragoza: Acribia.

Prominent. (2006). Photometer. *Dulcotest DT1 Photometer*, 42-54.

Prominent. (2012). Float Switches. *Pump and System Accessories*, 157-159.

Prominent. (2015). Bombas de dosificación, componentes y sistemas de dosificación. *Prominent*, 219-229.

Sanchez Zafra, A. (2008). Efectos de los trihalometanos sobre la salud. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 283.

Technical Committee ISO, T. (2014). *ISO 4064-4:2014*. Ginebra: International Organization for Standardization.

White, G. C. (1986). *Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc.

APÉNDICES

APÉNDICE A

COSTO DIRECTO MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES DIRECTOS

MATERIA PRIMA Y MATERIALES DIRECTOS			AÑO 1	
			UNIDADES	7,920,000
EXPRESADO EN US\$	UNIDADES	COSTO UNITARIO	CONSUMO	COSTO
Pollo	Kg	\$ 2.02	7,920,000	\$ 15,998,400
Funda	Unidad	\$ 0.04	7,920,000	\$ 316,800
Etiqueta	Unidad	\$ 0.02	7,920,000	\$ 158,400
TOTAL DE MATERIA PRIMA Y MATERIALES DIRECTOS				\$ 16,473,600

APÉNDICE B

COSTO INDIRECTO MATERIALES DIRECTOS

MATERIALES INDIRECTOS			AÑO 1	
			UNIDADES	7,920,000
EXPRESADO EN US\$	UNIDADES	COSTO UNITARIO	CONSUMO	COSTO
Impresión	Unidad	\$ 0.01	7,920,000	\$ 79,200
Etiqueta	Unidad	\$ 0.02	7,920,000	\$ 158,400
TOTAL DE MATERIALES INDIRECTOS				\$ 237,600

APÉNDICE C

COSTO DIRECTO MANO DE OBRA DIRECTA

MANO DE OBRA DIRECTA			Año 1	
EXPRESADO EN US\$	SUELDO O JORNAL MENSUAL	FACTOR CARGAS SOCIALES	# DE TRABAJADORES	COSTO
RECEPCIÓN	\$366	1.5	4	\$19,764
PESADO	\$366	1.5	2	\$9,882
ATURDIDO	\$366	1.5	3	\$14,823
DEGUELLE Y DESANGRE	\$366	1.5	3	\$14,823
ESCALDADO	\$366	1.5	3	\$14,823
DESPLUMADO	\$366	1.5	4	\$19,764
EVICERADO	\$366	1.5	4	\$19,764
LAVADO DE CARCASAS	\$366	1.5	2	\$9,882
DESINFECCIÓN DE CARCASAS	\$366	1.5	1	\$4,941
ENFRIAMIENTO	\$366	1.5	2	\$9,882
ESCURRIDO	\$366	1.5	2	\$9,882
SELECCIÓN	\$366	1.5	20	\$98,820
EMPAQUE	\$366	1.5	20	\$98,820
ALMACENAMIENTO	\$366	1.5	5	\$24,705
TRANSPORTE	\$366	1.5	5	\$24,705
TOTAL MANO DE OBRA DIRECTA			80	\$395,280

APÉNDICE D

COSTO INDIRECTO MANO DE OBRA INDIRECTA

MANO DE OBRA INDIRECTA			Año 1	
EXPRESADO EN US\$	SUELDO O JORNAL MENSUAL	FACTOR CARGAS SOCIALES	# DE TRABAJADORES	COSTO
MONITORISTAS DE PROCESO	\$750	1.5	9	\$91,125
ANALISTAS DE CALIDAD	\$900	1.5	3	\$36,450
SUPERVISORES DE PRODUCCIÓN	\$1,500	1.5	2	\$40,500
SUPERVISORES DE CALIDAD	\$1,500	1.5	2	\$40,500
JEFE DE PRODUCCIÓN	\$2,500	1.5	1	\$33,750
JEFE DE CALIDAD	\$2,500	1.5	1	\$33,750
TOTAL MANO DE OBRA INDIRECTA			18	\$276,075

APÉNDICE E

COSTO INDIRECTO SUMINISTROS Y REPUESTOS

SUMINISTROS Y REPUESTOS					AÑO 1	7,920,000
EXPRESADO EN US\$	UNIDAD	CONSUMO POR UNIDAD PRODUCIDA	COSTO FIJO	COSTO VARIABLE UNITARIO	CONSUMO	COSTO
AGUA	m3	0.01	\$1,000	\$0.95	79,200	\$76,240
VAPOR	bar	0.01	\$1,000	\$0.02	79,200	\$2,584
ENERGÍA ELÉCTRICA	Kwh	0.01	\$1,200	\$0.08	79,200	\$7,536
GAS	kg	0.01	\$1,000	\$0.95	79,200	\$76,240
COMBUSTIBLES	Galones	0.01	\$1,000	\$1.25	79,200	\$100,000
LUBRICANTES	Galones	0.01	\$1,000	\$1.00	79,200	\$80,200
MATERIAL DE LIMPIEZA	Litros	0.01	\$1,000	\$1.20	79,200	\$106,753
TOTAL DE SUMINISTROS Y SERVICIOS						\$449,553

APÉNDICE F

COSTO INDIRECTO

DEPRECIACIÓN, SEGUROS, REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO

DEPRECIACIÓN, SEGUROS, REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO					
EXPRESADO EN US\$	VALOR	VIDA ÚTIL (Años)	DEPRECIACIÓN	REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO	SEGUROS
			Cargo Anual	Cargo Anual	Cargo Anual
EDIFICIOS E INSTALACIONES	\$800,000	20	\$40,000	\$8,000	\$8,000
MAQUINARIA Y EQUIPOS					
Transportadores aéreos	\$90,000	10	\$9,000	\$900	\$900
Escaldadora	\$30,000	10	\$3,000	\$300	\$300
Peladora	\$30,000	10	\$3,000	\$300	\$300
Lavadora de carcasas	\$40,000	10	\$4,000	\$400	\$400
Pre Chiller	\$50,000	10	\$5,000	\$500	\$500
Chiller	\$50,000	10	\$5,000	\$500	\$500
Escurreidor de tornillo	\$10,000	10	\$1,000	\$100	\$100
Bandas transportadoras	\$20,000	10	\$2,000	\$200	\$200
Cámaras de Frío	\$60,000	10	\$6,000	\$600	\$600
Lavadora de gavetas	\$30,000	10	\$3,000	\$300	\$300
Montacargas	\$40,000	10	\$4,000	\$400	\$400
VEHICULOS	\$200,000	5	\$40,000	\$2,000	\$10,000
TOTAL ANUAL POR ÍTEM			\$125,000	\$14,500	\$22,500

APÉNDICE G

COSTO DE FABRICACIÓN

COSTO DE FABRICACIÓN	
PRODUCCIÓN (UNIDADES)	7,920,000
EXPRESADO EN \$	AÑO 1
COSTO DIRECTO	
MATERIA PRIMA Y MATERIALES DIRECTOS	\$16,473,600.00
MANO DE OBRA DIRECTO	\$395,280.00
COSTO INDIRECTO	
MATERIALES INDIRECTOS	\$237,600.00
MANO DE OBRA INDIRECTA	\$276,075.00
SUMINISTROS Y SERVICIOS	\$438,840.00
DEPRECIACIÓN	\$125,000.00
REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO	\$14,500.00
SEGUROS	\$22,500.00
IMPREVISTOS 2%	\$337,377.60
COSTO DE FABRICACIÓN	\$18,320,772.60
COSTO UNITARIO DE FABRICACIÓN	\$2.31

APÉNDICE H

GASTOS DE VENTAS

GASTOS DE VENTAS				
EXPRESADO EN US\$	SUELDO MENSUAL	FACTOR CARGAS SOCIALES	NÚMERO DE TRABAJADORES	COSTO ANUAL
Sueldos personal de Ventas:				
Jefe de Ventas	\$2,500	1.5	1	\$33,750
Supervisor de Ventas	\$1,600	1.5	1	\$21,600
Vendedores	\$1,200	1.5	20	\$324,000
Jefe de Marketing	\$2,500	1.5	1	\$33,750
Choferes	\$450	1.5	4	\$24,300
Auxiliares de transporte	\$366	1.5	4	\$19,764
Gastos de publicidad				\$100,000
Transporte				\$250,000
Seguros				\$10,000
Depreciación vehículos				\$40,000
Combustible				\$5,000
Otros gastos de venta				\$12,000
TOTAL MANO DE OBRA DIRECTA				\$874,164

APÉNDICE I

GASTOS ADMINISTRATIVOS

GASTOS ADMINISTRATIVOS				
EXPRESADO EN US\$	SUELDO MENSUAL	FACTOR CARGAS SOCIALES	NÚMERO DE TRABAJADORES	COSTO ANUAL
Sueldos personal administrativo:				
Presidente	\$6,000	1.5	1	\$81,000
Vicepresidente	\$5,000	1.5	1	\$67,500
Gerente General	\$4,000	1.5	1	\$54,000
Gerentes de área	\$3,000	1.5	7	\$283,500
Jefes de áreas	\$2,500	1.5	7	\$236,250
Contadores	\$1,200	1.5	2	\$32,400
Personal cargos medios	\$1,000	1.5	20	\$270,000
Equipos y materiales de oficina				\$150,000
Movilización y viáticos				\$40,000
Cuotas y Suscripciones				\$3,000
Misceláneos				\$30,000
Depreciaciones, reparaciones y seguros				\$25,000
TOTAL MANO DE OBRA DIRECTA				\$1,024,650

APÉNDICE J

GASTOS FINANCIEROS

GASTOS FINANCIEROS	
EXPRESADO EN \$	VALOR
Intereses a mediano plazo	600,000.00
TOTAL GASTOS FINANCIEROS	600,000.00