



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**"Mejoramiento del proceso de cloración en una planta  
potabilizadora de agua implementando la Metodología DMAIC"**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

**Previo a la obtención del Título de:**

**MAGÍSTER EN MEJORAMIENTO DE PROCESOS**

**Presentada por:**

**Laura Isabel Corrales Moreno**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**Año: 2021**

# AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la fuerza  
que se necesita para no  
caer.

A mis padres, por su  
constante apoyo.

A mi tutora Msc. Sofía  
López, por su apoyo  
desde el inicio del  
proyecto con su  
experiencia y  
recomendaciones.

# DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mi madre Aura Ligia por ser mi pilar y fuerza impulsora para seguir adelante.

# TRIBUNAL DE TITULACIÓN

---

**Ángel Ramírez M., Ph.D.**  
**DECANO DE LA FIMCP**  
**PRESIDENTE**

---

**Sofía López I., MSc.**  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

**María Retamales G., MSc.**  
**VOCAL**

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Titulación, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

---

Laura Isabel Corrales Moreno

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación se realizó en una empresa dedicada a la producción de agua potable. El proceso cuenta con captación, coagulación, floculación, filtración y cloración. Uno de los procesos fundamentales para preservar la calidad es la cloración, en este caso de la línea R2. La cual no estaba alcanzando el indicador de productos fuera de especificación (%PFE), el cual se determina con la relación entre el producto que no cumple vs el total de muestras analizadas del día.

Se tuvo como objetivo disminuir el indicador de producto fuera de especificación de la línea R2 del proceso de cloración. Se utilizó la metodología DMAIC donde se determinaron los motivos, variables y causas por las cuales el porcentaje de producto fuera de especificación en cloro residual no cumplía con el 2% requerido por la empresa. Con el proyecto se determinó que los principales problemas de la línea R2 eran la falta de estandarización en los procesos de cloración, falta de control en la nivelación de los niveles del reservorio, falta de conocimiento para cambios de dosis.

Luego de los análisis, se realizaron las implementaciones necesarias para solventar las oportunidades de mejora, con la implementación de procedimientos operativos estandarizados, plan de capacitación del personal, lecciones de un punto, establecimiento de parámetros de operación a través de un diseño de experimento, tableros con alarmas y de supervisión. Se logró disminuir el porcentaje de producto fuera de especificación de 6% a 3%, mejorando el  $C_{pk}$  del proceso de 1 a 1,167.

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b>	I
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	II
<b>ABREVIATURAS</b>	IV
<b>SIMBOLOGÍA</b>	V
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	VI
<b>CAPÍTULO 1</b>	9
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	9
1.1 Descripción del problema	9
1.2 Objetivo del proyecto	11
1.2.1 Objetivo del proyecto	11
1.2.2 Objetivos específicos	11
1.3 Alcance y restricciones	11
1.4 Marco teórico	12
<b>CAPÍTULO 2</b>	13
<b>2. METODOLOGÍA</b>	13
2.1. Etapa de definición	13
2.1.1. Declaración del problema	13
2.1.2. Declaración del problema Definición del objetivo SMART y los objetivos específicos	13
2.1.3. Elaboración del SIPOC del proyecto	15
2.1.4. Proyecto "VOC" Voice of customer y determinación de los CTQ's	16
2.1.5. Elaboración del Project charter	18
2.2. Etapa de medición	20
2.2.1. Plan de recolección de datos	20
2.2.2. Prueba de confiabilidad de plan de recolección de datos	21
2.2.3. Análisis de normalidad de datos	22
2.2.4. Análisis de capacidad del proceso	23
2.2.5. Estratificación de datos	25
2.2.6. Problema enfocado	26
2.3. Etapa de análisis	27
2.3.1. Restablecimiento de condiciones básicas	27
2.3.2. Proceso de identificación de causas	27
2.3.3. Matriz causa y efecto por falta de control en dosificación de solución clorada	28

2.3.4.	Verificación de causas	29
2.4.	Etapa de implementación	36
2.4.1.	Levantamiento de actividades de cloración, generación de Procedimientos estandarizados, etiquetado, metodología de capacitación y evaluación.	37
2.4.2.	Colocación de equipo para control visual y gráficas de tendencia para control.	43
2.4.3.	Definición de criterios de cambio de kg/h de cloro con diseño de experimento	43
2.4.4.	Calibración de equipo dosificador y establecimiento de frecuencia de comprobación de datos de maquina cloradora (kg/h).	50
<b>CAPÍTULO 3</b>		<b>51</b>
<b>3. RESULTADOS</b>		<b>51</b>
<b>CAPÍTULO 4</b>		<b>55</b>
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>55</b>
4.1	Conclusiones	55
4.2	Recomendaciones	56
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>57</b>
<b>ANEXOS</b>		



## ABREVIATURAS

C <sub>pk</sub>	Capacidad real del proceso
CTQ's	Parámetros de calidad críticos
DMAIC	Definición Medición Análisis Implementación Control
PFE	Porcentaje fuera de especificación
pH	Potencial hidrogeno
POS	Procedimiento operativo estandarizado
R2	Línea de cloración
SIPOC	Supplier, Input, Process, Output, Customers
VOC	Voice of customer

## SIMBOLOGÍA

C	Concentración
Kg	Kilogramos
L	Litros
mg/L	Unidad de medida de concentración
m	Metros
V	Volumen
%	Porcentaje

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Porcentaje fuera de especificación de parámetros operativos.....	10
Figura 1.2 Diagrama de barras de porcentaje fuera de especificación de cloro residual en R2.....	11
Figura 2.1 Línea base del Porcentaje de producto fuera de especificación R2 con diferentes escenarios de GAP .....	14
Figura 2.2 SIPOC Línea R2 .....	15
Figura 2.3 Consumo de cloro residual de la línea R2 por mes, desde abril del 2019 hasta agosto 2020 .....	17
Figura 2.4 Porcentaje de incumplimiento del presupuesto mensual de cloro por mes, desde abril 2019 hasta agosto 2020 .....	17
Figura 2.5 Número de formularios enviados por mes, desde abril 2019 hasta agosto 2020 .....	18
Figura 2.6 Matriz de indicadores CTQ´s.....	18
Figura 2.7 Fecha de inicio y cierre de etapas.....	19
Figura 2.8 Proceso de validación de datos .....	22
Figura 2.9 Prueba de normalidad %PFE.....	23
Figura 2.10 Capacidad del proceso binomial PFE .....	24
Figura 2.11 Nivel sigma .....	25
Figura 2.12 Pareto de porcentaje de cloro residual fuera de especificación de la línea R2, por turnos horarios. ....	26
Figura 2.13 Diagrama de Ishikawa posibles causas .....	28
Figura 2.14 Falta de estandarización en los procesos de cloración 5 ¿Por qué? .....	31
Figura 2.15 Válvulas y tuberías sin etiquetar .....	31
Figura 2.16 Instructivos desactualizados .....	32
Figura 2.17 Nivel del reservorio versus Cloro residual, en un periodo de 8 días en el turno 3. ....	32
Figura 2.18 Verificación de la causa Falta de control visual.....	33
Figura 2.19 Falta de conocimiento para realizar cambio de dosis 5 ¿Por qué? .....	33
Figura 2.20 Gráfica de normalidad de los datos de cloro residual (mg/l).....	34
Figura 2.21 Informe de Capacidad del proceso con los datos de cloro residual (mg/l) .....	34
Figura 2.22 Gráfica de líneas de Kg/h Cloro ingresado por operador vs Kg/h Cloro real dosificado .....	35
Figura 2.23 Máquina cloradora remota y en sitio .....	35
Figura 2.24 Formato de procedimientos estandarizados.....	39
Figura 2.25 Tuberías y válvulas etiquetadas.....	40
Figura 2.26 Lección de un punto semanal .....	41
Figura 2.27 Control visual .....	43
Figura 2.28 Tablero tendencia de cloro residual de la línea R2.....	43
Figura 2.29 Cálculo de Kg/h de cloro residual para 1,4 metros de nivel.....	44
Figura 2.30 Cálculo de Kg/h de cloro residual para 1,9 metros de nivel.....	44
Figura 2.31 Resumen del Modelo .....	45
Figura 2.32 Diagrama de Pareto efectos estandarizados.....	45
Figura 2.33 Gráficas de residuos para cloro residual .....	46
Figura 2.34 Informe de resumen de residuos.....	46
Figura 2.35 Gráfica de corridas de los residuos .....	47

Figura 2.36 Gráfica de efectos principales para cloro residual .....	47
Figura 2.37 Informe de resumen cloro residual final.....	48
Figura 2.38 Gráfica de normalidad de cloro residual al final de las corridas.....	48
Figura 2.39 Informe de capacidad de cloro residual final de las corridas .....	49
Figura 2.40 Gráfica de series de tiempo de cloro residual .....	49
Figura 2.41 Gráfica de líneas de Kg/h Cloro ingresado por operador vs Kg/h Cloro real dosificado .....	50
Figura 3.1 Serie de tiempo % PFE.....	51
Figura 3.2 Porcentaje de producto fuera de especificación línea R2.....	52
Figura 3.3 Informe de capacidad binomial antes y durante .....	53
Figura 3.4 Nivel sigma .....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Descripción del problema.....	13
Tabla 2 Escenarios % reducción del GAP y objetivo.....	14
Tabla 3 Voz del cliente (VOC).....	16
Tabla 4 Plan de recolección de datos .....	20
Tabla 5 Formato producto fuera de especificación.....	21
Tabla 6 Problema enfocado .....	26
Tabla 7 Niveles de correlación matriz causa y efecto.....	28
Tabla 8 Resultados Matriz causa y efecto.....	29
Tabla 9 Plan de verificación de causas.....	30
Tabla 10 Plan de verificación de causas.....	36
Tabla 11 Solución a causas raíces .....	37
Tabla 12 Matriz de levantamiento de equipos y válvulas .....	40
Tabla 13 Rangos de calificación matriz de polivalencia .....	41
Tabla 14 Plan de evaluaciones .....	42
Tabla 15 Factores y niveles para diseño de experimento .....	45

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el mejoramiento de los procesos es un reto en toda industria, debido a que representa una ventaja competitiva que genera un mejor manejo de los recursos de la empresa (Gómez, 2014). Es de suma importancia para las empresas poder evaluar los procesos y determinar sus puntos de mejora. Las metodologías utilizadas para determinar los puntos de mejora se enfocan en determinar causas valederas de desviaciones de sus procesos y soluciones realistas ajustadas a la capacidad de la empresa.

Este proyecto se realizó en una empresa dedicada a la producción de agua potable desde una fuente de agua superficial. El tratamiento cuenta con procesos de coagulación, floculación, filtración, cloración y ajuste de pH.

La empresa cuenta con líneas de producto terminado, donde se evalúan parámetros de calidad de agua potable. Cada línea tiene su rango de operación de acuerdo a cada parámetro evaluado, como es el caso de cloro, pH y turbiedad.

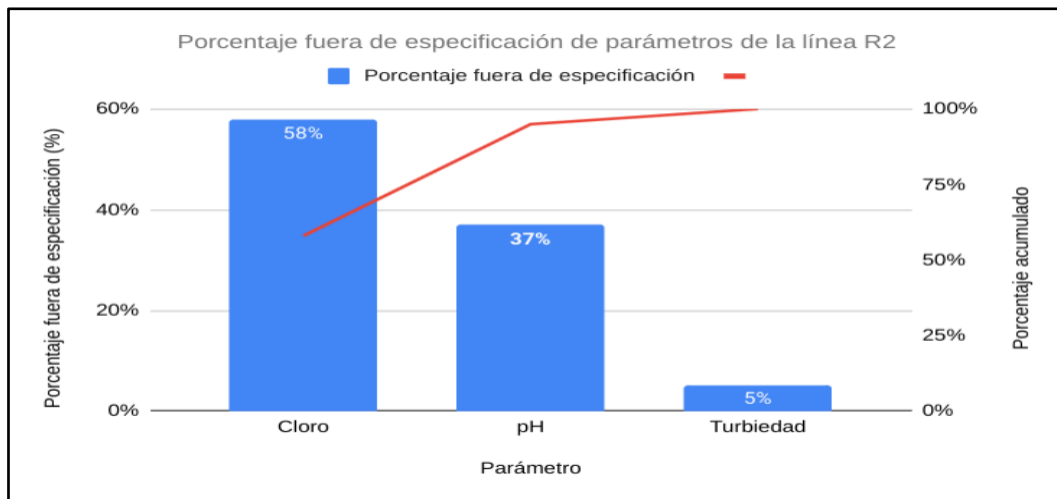
Este proyecto se enfocó en el parámetro cloro residual del área de cloración debido a que produce el mayor porcentaje de producto fuera de especificaciones, específicamente la línea R2. Este producto fuera de especificación está relacionado directamente a los parámetros operacionales establecidos por la empresa relacionados a consumos y no de calidad de agua potable.

### 1.1 Descripción del problema

El principal indicador operacional de la empresa es el porcentaje de producto fuera de especificación, el cual mide la relación entre el número de productos que no cumple la especificación del proceso versus el total de análisis realizados. Este indicador se calcula tanto para cloro residual, pH y turbiedad del producto final.

Respecto a la línea R2 de acuerdo a la figura 1.1, el cloro residual es el parámetro con mayor proporción de producto fuera de especificación con 58%, seguido del pH con un 38% del total de productos que no cumplen las especificaciones de esta Línea. Estos datos se evaluaron en el periodo de marzo 2020 hasta junio del 2020, con un total de 500 productos fuera de especificación.

Considerando que el mayor porcentaje de producto fuera de especificación pertenece a cloro residual, este proyecto se enfocará en el área de cloración específicamente el porcentaje de producto fuera de especificaciones de cloro residual.



**Figura 1.1 Porcentaje fuera de especificación de parámetros operativos**

Fuente: Corrales, 2021.

Elaboración propia.

La variable de respuesta del proyecto es el porcentaje de producto fuera de especificación de cloro residual, el cual mide la relación entre el número de productos con cloro residual (mg/L) que no cumple la especificación del proceso versus el total de análisis de cloro residual (mg/L) realizados.

$$PFE = \frac{\text{Producto que no cumple}}{\text{Total de muestras}} \times 100$$

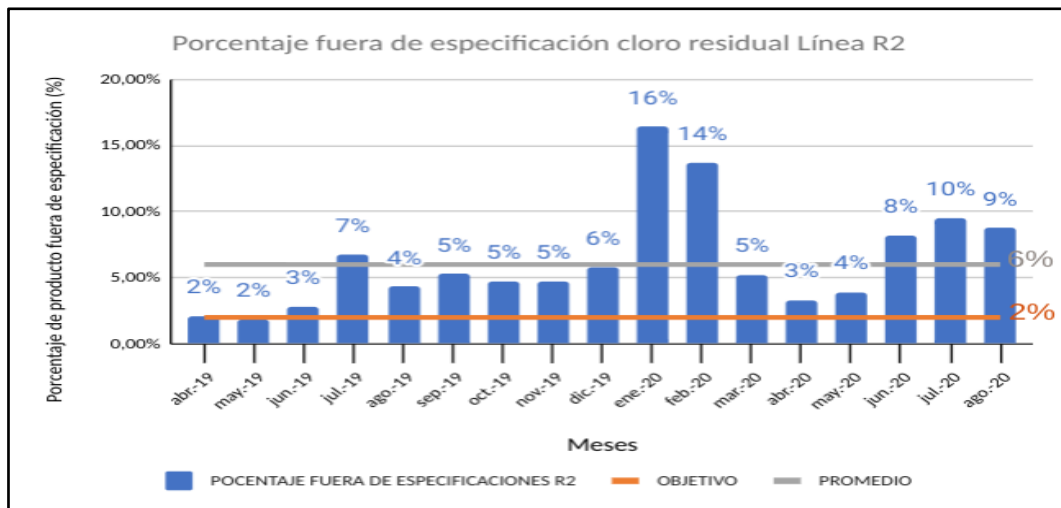
**PFE:** Indicador del producto fuera de especificación.

**Producto que no cumple:** Número de análisis de cloro residual realizados que no cumplen con las especificaciones de operación.

**Total de muestras:** Número total de análisis realizados de cloro residual.

Este indicador (PFE) se analiza de manera diaria y al final del mes se calcula un promedio mensual.

Según la figura 1.2 el porcentaje de producto fuera de especificaciones de cloro residual de R2 no cumple con el objetivo establecido por la empresa que es 2%, desde abril del 2019. El porcentaje fuera de especificaciones promedio de cloro residual de R2 es de 6%.



**Figura 1.2 Diagrama de barras de porcentaje fuera de especificación de cloro residual en R2**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

## 1.2 Objetivo del proyecto

### 1.2.1 Objetivo del proyecto

Disminuir el porcentaje de producto fuera de especificaciones en cloro residual a través de la metodología DMAIC.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar y analizar las principales causas que generan el aumento del porcentaje de producto fuera de especificaciones de cloro residual a través de herramientas lean.
- Implementar mejoras para la disminución del porcentaje de producto fuera de especificaciones de cloro residual en la línea R2  
Controlar el desempeño futuro del proceso de cloración en la línea R2 a través de indicadores de variación del proceso.

## 1.3 Alcance y restricciones

El alcance de este proyecto será específicamente en la línea R2 del proceso de cloración, de acuerdo al SIPOC del proceso mostrado en la figura 2.2.

La restricción principal para la realización de este proyecto es el tiempo de desarrollo, debido a que algunas mejoras toman más tiempo que el previsto y es un proceso de implementación a largo plazo con fechas de término posteriores al proyecto.



## 1.4 Marco teórico

Seis Sigma es una estrategia de mejora continua que busca encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio, enfocándose hacia aquellos aspectos que son críticos para el cliente (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2009).

La implementación de seis sigmas para la mejora de procesos en empresas de manufactura es usada de una manera muy amplia y con resultados favorables en la reducción de defectos del proceso (Narottam, Mathiyazhagan K. & Sharma V, 2019).

La metodología en la que se apoya Seis Sigma está definida y fundamentada en las herramientas y el pensamiento estadísticos (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2009). Para poder realizar mejoras significativas de manera constante dentro de una organización, es importante tener un proceso estandarizado a seguir.

DMAIC es una metodología de mejora de procesos (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar). Cada una de estas fases utiliza diferentes herramientas para dar respuesta a preguntas específicas que dirigen a una mejora en el proceso (Ocampo & Pavón, 2012). Las fases de método DMAIC son:

**Definir:** En la fase de definición es donde se establece el métrico que deseamos corregir y cómo se conecta este con un impacto a la organización (Ríos et al., 2016).

**Medir:** Se empiezan a visualizar aquellas posibles razones por las que la métrica se está comportando como tal (Ríos et al., 2016).

**Analizar:** Se revisa la estabilidad de la información. Se calcula el valor Z, viendo cuál es el estado de la métrica (Ríos et al., 2016).

**Mejorar:** Se establece un plan piloto para controlar los cambios que se quieren hacer y detectar posibles efectos no deseados (Ríos et al., 2016).

**Controlar:** Es importante controlar que el cambio no haya sucedido solo por supervisión, garantizando cambios constantes en el tiempo (Ríos et al., 2016). El análisis de datos también forma una parte importante de entender los factores que afectan a un proceso determinado (Ghosh & Maiti, 2012) en la mejora de calidad de procesos.

## CAPÍTULO 2

### 2. METODOLOGÍA

La metodología a utilizar para este proyecto como se menciona anteriormente es Lean Six Sigma a través de DMAIC. Siguiendo la planificación resumida en la figura 2.7 que indica las fechas de término de cada etapa.

#### 2.1. Etapa de definición

##### 2.1.1. Declaración del problema

Desde abril del 2019, el porcentaje de producto fuera de especificaciones de cloro residual de R2 no cumple con el objetivo establecido por la empresa que es 2%. El porcentaje fuera de especificaciones promedio de cloro residual de R2 es de 6%.

**Tabla 1 Descripción del problema**

Pregunta	Descripción
¿Qué?	El porcentaje de producto fuera de especificación en cloro residual no cumple con el objetivo de la empresa
¿Dónde?	En la línea R2
¿Cuánto?	Desde el mes de Abril del 2019
¿Qué tanto?	El porcentaje promedio de producto fuera de especificación es en la línea R2 de 6%
¿Cómo lo sé?	El objetivo establecido operacionalmente es 2%

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

##### 2.1.2. Declaración del problema Definición del objetivo SMART y los objetivos específicos

Para poder realizar el cálculo del objetivo SMART se tomó la línea base con data histórica del porcentaje de producto fuera de especificación de cloro residual desde el mes de abril del 2019 hasta agosto del 2020, obteniéndose un valor promedio de 6%.

Para el valor referencial (Benchmark) se tomó el valor que exige la empresa, el cual es del 2%.

Para determinar el GAP, el valor promedio obtenido de los datos históricos menos el valor referencial, mientras que el porcentaje de reducción se evaluaron 3 escenarios: neutro, pesimista y optimista

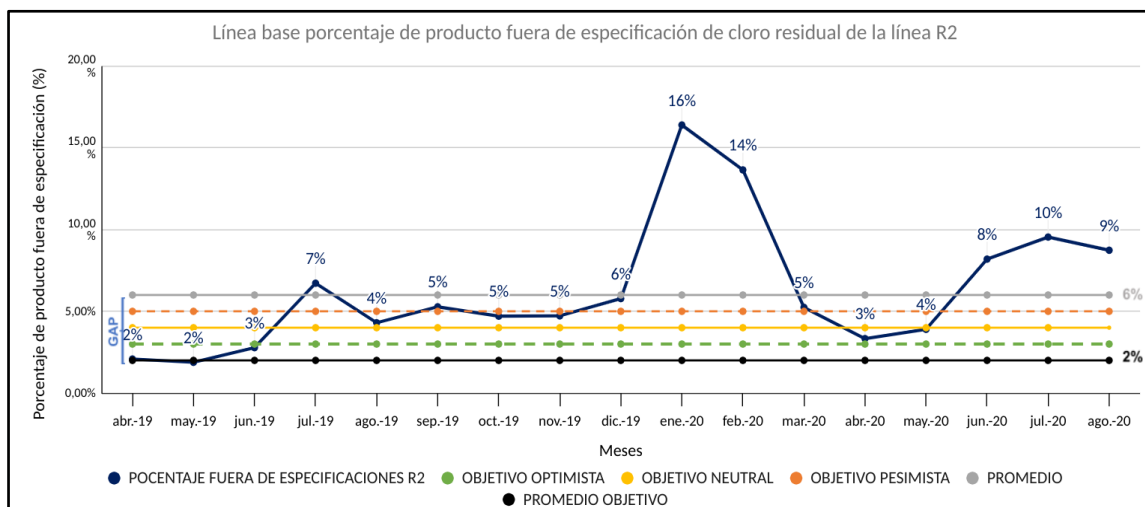
$$\% \text{ Objetivo} = \text{Benchmark} + (\text{GAP} * (1 - \% \text{ reducción del GAP}))$$

**Tabla 2 Escenarios % reducción del GAP y objetivo**

MEDIA	OBJETIVO	GAP		
6%	2%	4%		
	Neutro	Optimista	Pesimista	
GAP	4%	4%	4%	
%Reducción del GAP	50%	80%	20%	
OBJETIVO	4%	3%	5%	

Fuente: Corrales, 2021.

Elaboración propia.



**Figura 2.1 Línea base del Porcentaje de producto fuera de especificación R2 con diferentes escenarios de GAP**

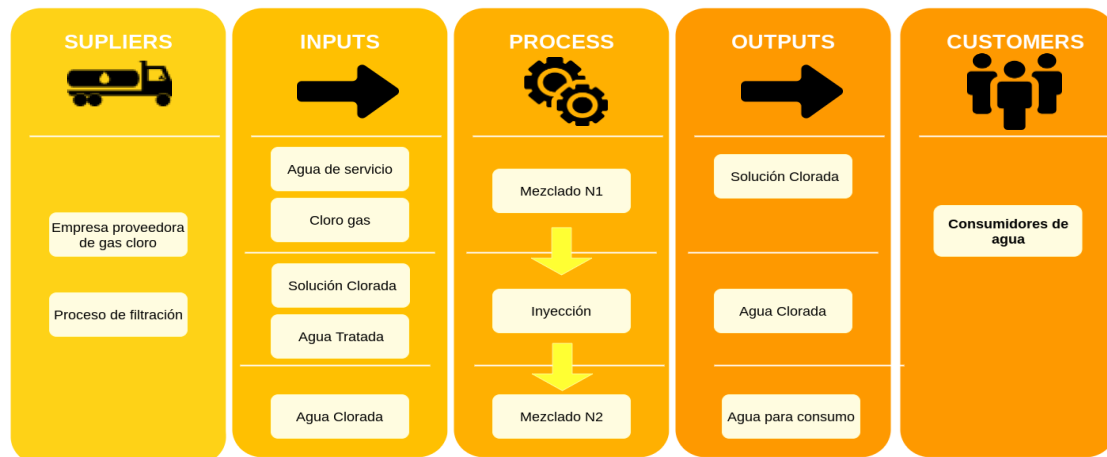
Fuente: Corrales, 2021.

Elaboración propia.

En la figura 2.1 se muestran los diferentes objetivos con el GAP calculado. Para este proyecto se escogió un escenario optimista con una reducción del 80% del GAP, teniendo como objetivo un porcentaje de producto no conforme promedio de 3%.

### 2.1.3. Elaboración del SIPOC del proyecto

El alcance del proyecto se refleja a través de la herramienta SIPOC, representado en la figura 2.2.



**Figura 2.2 SIPOC Línea R2**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

Suppliers: empresa proveedora de cloro y el proceso de filtración que provee el agua de servicio.

Inputs: Lo que ingresa a cada etapa de proceso:

- Agua de servicio
- Cloro gas
- Solución clorada
- Agua tratada
- Agua cruda

Process: Conjunto de procesos internos para obtener el producto final.

- Outputs: Resultados obtenidos de cada proceso interno.
- Solución clorada
- Agua Clorada
- Agua para consumo

Customers: Consumidores finales del producto.

## 2.1.4. Proyecto "VOC" Voice of customer y determinación de los CTQ's

Para la realización del VOC se entrevistaron a los líderes de las áreas relacionadas al proceso de cloración, estas áreas fueron: control de presupuesto, calidad y bodega. La finalidad fue encontrar de qué manera les afecta que el porcentaje de producto fuera de especificaciones esté por encima del objetivo.

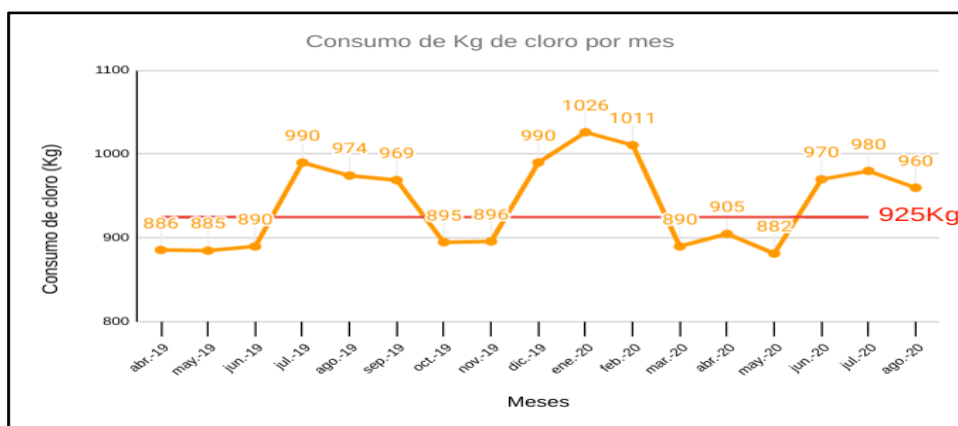
**Tabla 3 Voz del cliente (VOC)**

Producto	Cliente	Hallazgos
Indicador de producto fuera de especificación de cloro residual de la línea R2	<b>Control de presupuesto</b>	Falta de cumplimiento del presupuesto mensual para cloro (objetivo máximo 3% de lo presupuestado)
	<b>Calidad</b>	Aumento del número de formularios a procesar por no cumplimiento de las especificaciones
	<b>Bodega</b>	Mayor consumo de kg de cloro de lo previsto mensualmente

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla 3, se encontraron ciertos hallazgos en las áreas entrevistadas, por lo que se recopiló información de los mismos del periodo en estudio.

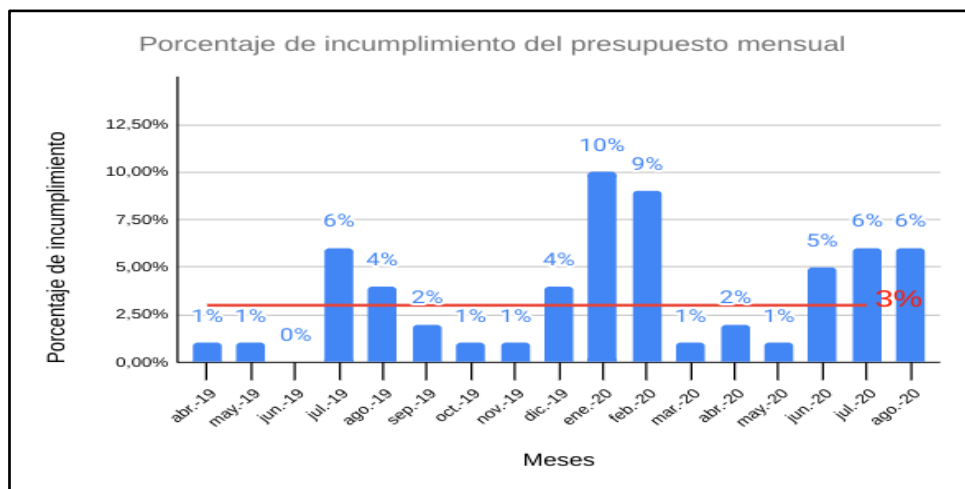
De acuerdo a la figura 2.3 en el período de estudio del indicador de producto fuera de especificación de cloro residual de la línea R2, el consumo de cloro residual dentro del área de bodega excede en algunos casos el límite establecido de consumo mensual de 925 Kg por bodega.



**Figura 2.3 Consumo de cloro residual de la línea R2 por mes, desde abril del 2019 hasta agosto 2020**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

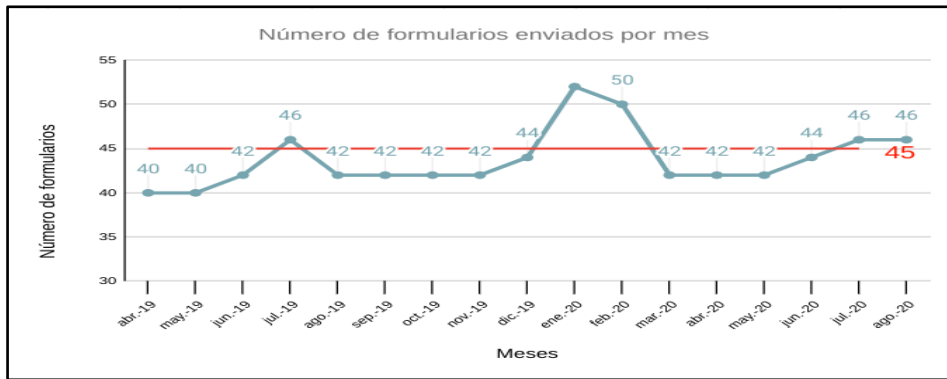
También se observa en la figura 2.4 que, dentro del área de control de presupuesto, el porcentaje de incumplimiento del presupuesto mensual para cloro excede el límite establecido que es de máximo 3% de excedente al valor presupuestado.



**Figura 2.4 Porcentaje de incumplimiento del presupuesto mensual de cloro por mes, desde abril 2019 hasta agosto 2020**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

Según los históricos de la figura 2.5 en el área de calidad, el número de formularios enviados por mes por el reporte de situación fuera de especificación está por encima del objetivo de área de 45 por mes en algunos meses.

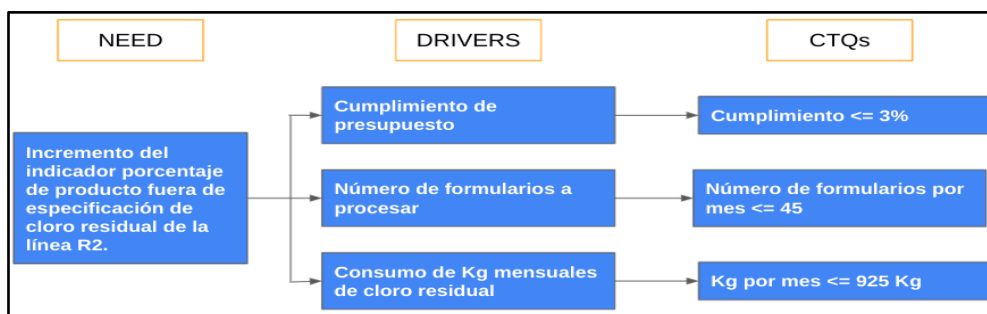


**Figura 2.5 Número de formularios enviados por mes, desde abril 2019 hasta agosto 2020**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

### Determinación de los CTQ's

Una vez identificados los posibles problemas que afectan a otras áreas como resultado del no cumplimiento del porcentaje de producto fuera de especificación de la línea R2, se procede a identificar los CTQ's del proceso.



**Figura 2.6 Matriz de indicadores CTQ's**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

En la figura 2.6 se traduce en CTQ's las necesidades de otras áreas, que se ven afectadas al tener incremento del indicador de producto fuera de especificación de cloro residual de la línea R2.

### 2.1.5. Elaboración del Project charter

Para la elaboración del Project charter o resumen del proyecto se muestran a continuación las consideraciones que se tomaron:

## Título del proyecto

Mejoramiento del proceso de cloración en una planta potabilizadora de agua implementando la metodología DMAIC.

## Declaración del problema

Desde abril del 2019, el porcentaje de producto fuera de especificaciones de cloro residual de R2 no cumple con el objetivo establecido por la empresa que es 2%. El porcentaje fuera de especificaciones promedio de cloro residual de R2 es de 6%.

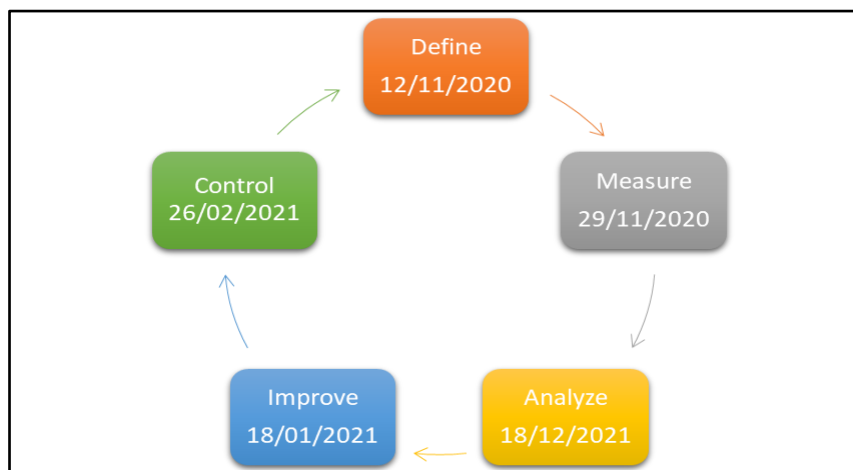
## Beneficios para la organización

Disminuir en un 3% el porcentaje de producto fuera de especificación de cloro residual en línea R2.

## Alcance

Línea R2 del proceso desde cloración hasta inyección

## Fecha de cierre de etapas



**Figura 2.7 Fecha de inicio y cierre de etapas**

Fuente: Corrales, 2021.

Elaboración propia.

## Entregables esperados

- Matriz de polivalencia del personal encargado
- Elaboración de procedimientos estandarizados de cloración de R2
- Tablero de tendencia de cloro residual y porcentaje de producto fuera de especificación
- Archivo Control de productos fuera especificaciones.



## Declaración del objetivo SMART

Disminuir en un 3% el porcentaje de producto fuera de especificación de cloro residual en línea R2 de un promedio de 6% a 3% en un periodo de 4 meses.

## 2.2. Etapa de medición

Esta etapa tiene como objetivo trazar la situación inicial del indicador porcentaje de producto fuera de especificación, determinando cuales son los factores de estratificación para que el producto no cumpla con los parámetros de operación establecidos, a través de un plan de recolección de datos de la línea R2.

### 2.2.1. Plan de recolección de datos

El proceso de recolección de datos se detalla en la tabla 4 donde se especifica que se medirá, tipo de dato, como se medirá, factores que afectan, tamaño y frecuencia y en donde se medirán.

**Tabla 4 Plan de recolección de datos**

Datos		Definición operacional			
¿Qué?	Tipo de dato	¿Cómo medir?	Factores de estratificación	Muestreo	¿Dónde se registra?
Producto fuera de especificación de cloro residual	Continuo	Se ingresará información cada que hay un producto fuera de especificación de cloro residual	Por fecha Por turno Por supervisor Por cloro residual Razones cloro fuera de especificación: Falta de control Choque de precloración Falla en el sistema dosificador Otros.	Se registrará la información durante todos los turnos horarios (8am-4pm, 4pm-12am, 12am-8am) desde el 29/11/2020 al 18/12/2020	Registro de Producto fuera de especificación (PFC)

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

Para la realización del muestreo, se registraron los productos fuera de especificación durante los tres turnos de producción de la línea R2. Se crea un documento llamado registro de producto fuera de especificación para el plan de recolección de datos que se encuentra en el **ANEXO B**.

Tabla 5 Formato producto fuera de especificación

Fecha	Hora	Categoría de Incumplimiento	Problemas en el sistema	Valores Cloro Residual	Guardia
11/29/2020	16:00	Internos	Falta de control	1.42	4
11/29/2020	17:00	Internos	Falta de control	0.46	1
11/29/2020	18:00	Internos	Falta de control	1.69	1
11/30/2020	24:00	Internos	Falta de control	1.44	1
11/30/2020	13:00	Internos	Falta de control	1.41	2
11/30/2020	15:00	Internos	Falta de control	1.07	2
12/1/2020	24:00	Internos	Falta de control	2.14	1
12/1/2020	02:00	Internos	Falta de control	1.42	2
12/1/2020	03:00	Internos	Choque de precloración	1.45	2
12/1/2020	04:00	Internos	Choque de precloración	1.75	2
12/1/2020	09:00	Internos	Choque de precloración	1.56	1
12/1/2020	14:00	Internos	Falta de control	0.80	1
12/1/2020	17:00	Internos	Falta de control	1.66	4
12/1/2020	18:00	Internos	Falta de control	0.84	4
12/1/2020	19:00	Internos	Falta de control	1.44	4
12/1/2020	20:00	Internos	Fuga	0.98	4
12/2/2020	03:00	Internos	Falta de control	1.53	4
12/2/2020	16:00	Internos	Falta de control	1.43	1
12/2/2020	23:00	Internos	Falta de control	0.96	4
12/3/2020	03:00	Internos	Falta de control	1.45	1
12/3/2020	04:00	Internos	Falta de control	1.45	1
12/3/2020	09:00	Internos	Falta de control	1.47	4
12/3/2020	10:00	Internos	Falta de control	1.45	4
12/3/2020	19:00	Internos	Falta de control	1.48	3
12/3/2020	13:00	Internos	Fuga	0.90	3
12/3/2020	17:00	Internos	Falta de control	1.60	3
12/4/2020	01:00	Internos	Choque de precloración	1.46	4
12/4/2020	02:00	Internos	Choque de precloración	1.02	4

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

El documento para la recolección de datos está dividido en:

- Fecha: Día de registro.
- Hora: Hora del producto fuera de especificación.
- Factores de estratificación cloro residual: los posibles factores de estratificación que los supervisores determinen en el momento (falta de control en la solución clorada, choque de precloración, falla en el sistema dosificador, entre otros.)
- Valores de cloro residual: Valor de cloro residual de producto fuera de especificación.
- Supervisor de turno: Saber qué colaborador realiza el registro.

### 2.2.2. Prueba de confiabilidad de plan de recolección de datos

Para la prueba de confiabilidad de los datos recolectados a través del registro de productos fuera de especificación de la línea R2. Se la realizó de la siguiente manera:

- Se comparó los tiempos registrados en el formato versus la información que refleja el aplicativo de ingreso de información.
- De manera aleatoria cada día se realizaba una comparación por parte del laboratorio y lo registrado por supervisión, como se muestra en la figura 2.8.

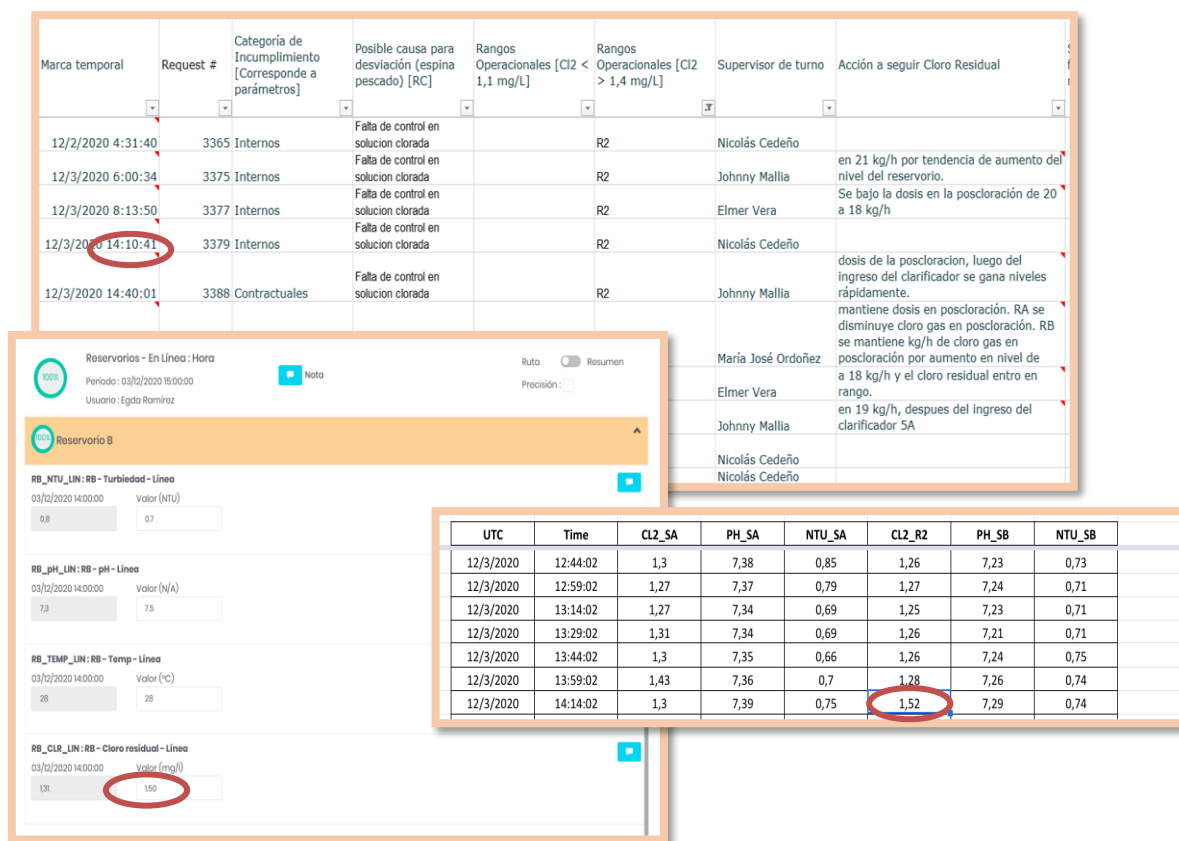
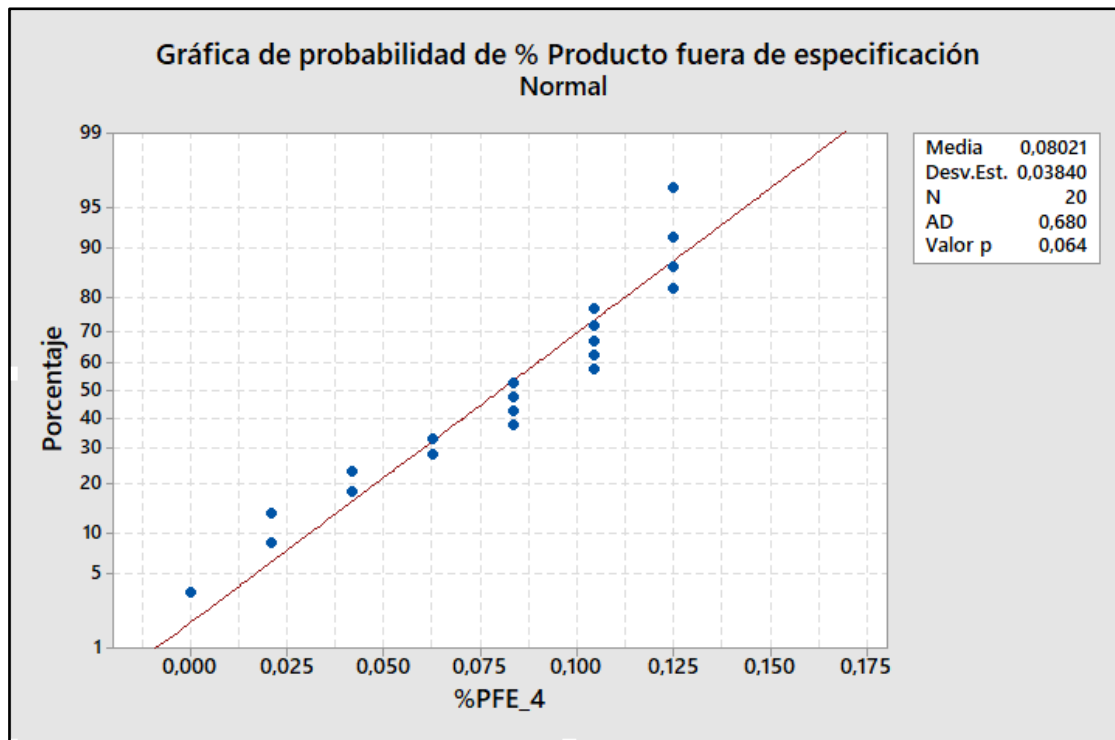


Figura 2.8 Proceso de validación de datos

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

### 2.2.3. Análisis de normalidad de datos

Con la finalidad de evaluar la normalidad de los datos recolectados, se realizó la prueba de normalidad de los porcentajes de producto fuera de especificación, obtenido de la recolección de datos.



**Figura 2.9 Prueba de normalidad %PFE**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

La figura 2.9 muestra el valor P que nos ayudará a determinar si los datos tienen un comportamiento normal con una confiabilidad del 95%

Ho: Comportamiento normal

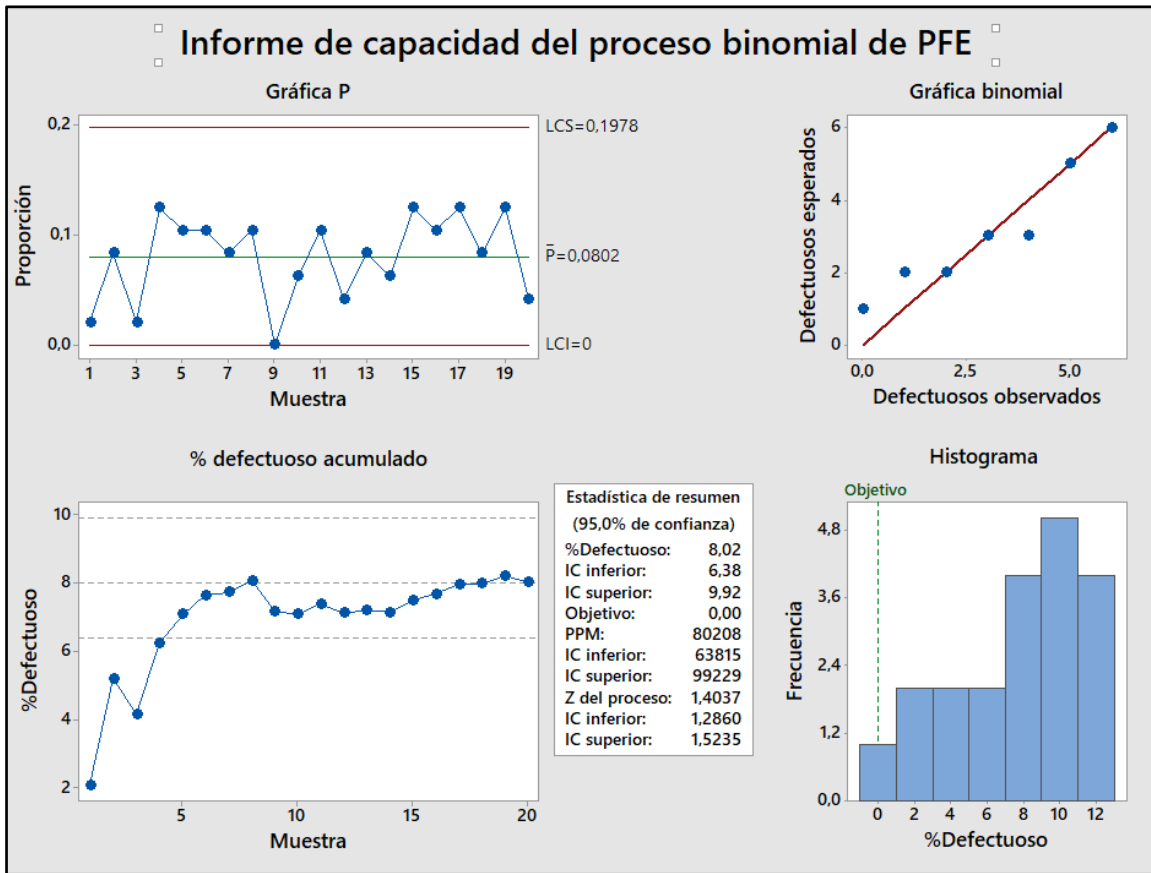
vs.

H1: Sin comportamiento normal

Según el valor p obtenido igual a 0.064 que es mayor a 0.05, se puede concluir estadísticamente que los datos de porcentaje de producto fuera de especificación tienen un comportamiento normal.

## 2.2.4. Análisis de capacidad del proceso

El análisis de capacidad binomial se realiza con la finalidad de evaluar qué tan bien cumple con las especificaciones el proceso de cloración en la línea R2.



**Figura 2.10 Capacidad del proceso binomial PFE**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

En la figura 2.10, las partes por millón defectuosas (PPM Def) indican que se espera que 80208 de 1,000,000 de productos estén por fuera de las especificaciones (defectuosos). Este valor de PPM corresponde a un porcentaje de defectuosos de aproximadamente 8.02%. Los límites de confianza superior e inferior (IC) indican que el proceso puede estar 95% seguro de que el porcentaje fuera de especificación del proceso se encuentra dentro del intervalo de 6.38% y 9.92%.

$$\text{Nivel sigma} = Z \text{ del Proceso} + 1.5$$

$$\text{Nivel sigma} = 1.4037 + 1.5$$

$$\text{Nivel sigma} = 2.9037$$

$$Cpk = 1$$

Nivel Sigma	Sigma + 1.5	1.5 - Sigma	Probabilidad Buenos	Probabilidad Defectos	DPMO	Cpk
0	0,933192799	0,933192799	0	1	1.000.000,00	0,000
0,5	0,977249868	0,841344746	0,135905122	0,864094878	864.094,88	0,167
0,75	0,987775527	0,773372648	0,21440288	0,78559712	785.597,12	0,250
1	0,993790335	0,691462461	0,302327873	0,697672127	697.672,13	0,333
1,25	0,997020237	0,598706326	0,398313911	0,601686089	601.686,09	0,417
1,5	0,998650102	0,5	0,498650102	0,501349898	501.349,90	0,500
1,75	0,999422975	0,401293674	0,598129301	0,401870699	401.870,70	0,583
2	0,999767371	0,308537539	0,691229832	0,308770168	308.770,17	0,667
2,25	0,999911583	0,226627352	0,77328423	0,22671577	226.715,77	0,750
2,5	0,999968329	0,158655254	0,841313075	0,158686925	158.686,93	0,833
2,75	0,999989311	0,105649774	0,894339538	0,105660462	105.660,46	0,917
3	0,999996602	0,066807201	0,933189401	0,066810599	66.810,60	1,000
3,25	0,999998983	0,040059157	0,959939826	0,040060174	40.060,17	1,083

**Figura 2.11 Nivel sigma**

Fuente: Blackberry&cross,2020.  
Sigma Level.

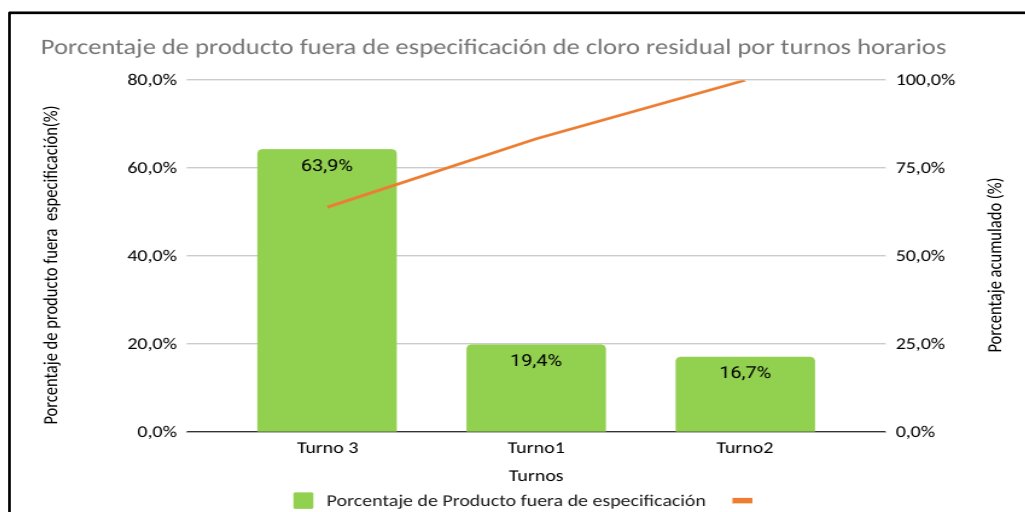
El valor Z del proceso es de 1.4037, que es menor que 2, valor que suele considerarse como el mínimo necesario para un proceso con capacidad. Además de tener el proceso un  $C_{pk}$  de 1. En conjunto, estos estadísticos de resumen indican que el proceso de cloración en la línea R2 no es capaz de cumplir con las especificaciones es un proceso capaz que requiere un control estricto.

### 2.2.5. Estratificación de datos

Se determinó el porcentaje de producto fuera de especificación de cloro residual por turno, para la estratificación de datos. Desde el 29 de noviembre al 18 de diciembre del 2020 en la línea R2.

Los turnos son los grupos horarios del equipo de trabajo, organizados de la siguiente manera:

- Turno 1: Horario de 12 am a 8 am.
- Turno 2: Horario de 8am a 16pm.
- Turno 3: Horario de 16 pm a 12 am.



**Figura 2.12 Pareto de porcentaje de cloro residual fuera de especificación de la línea R2, por turnos horarios.**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

La figura 2.12 representa un diagrama de Pareto de los turnos que maneja el proceso, en donde el turno 3 tiene mayor porcentaje de producto fuera de especificación con un 63,9%.

## 2.2.6. Problema enfocado

El problema enfocado se representa en la tabla 6 en donde:

El 63,9% de las incidencias de producto fuera de especificaciones en cloro residual se dan en el turno 3 de la empresa desde el 29 de noviembre al 18 de diciembre del 2020 en la línea R2.

**Tabla 6 Problema enfocado**

Pregunta	Descripción
¿Qué?	El porcentaje de producto fuera de especificaciones en cloro residual
¿Como?	Turno 3
¿Dónde?	En la línea R2 de cloración
¿Qué tanto?	El 63,9% del producto fuera de especificación
¿Cómo lo sé?	Durante todas las 3 guardias del 29 de noviembre al 18 de diciembre del 2020

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia

## **2.3. Etapa de análisis**

### **2.3.1. Restablecimiento de condiciones básicas**

Con el problema enfocado identificado en el proyecto, es necesario tener las condiciones básicas de la línea R2 en óptimas condiciones para descartar efectos que pueden generar ciertos defectos de la línea.

Se levantó el plan de acción de condiciones básicas de la línea R2, con la finalidad de levantar las acciones necesarias que deben ser solucionadas. Dentro del mismo se evidenciaron soluciones que debían ser realizadas de manera inmediata.

#### **Línea de cloración**

- Resistencia intermitente
- Fugas en cambios automáticos de cilindros
- Fugas constantes en válvulas angulares
- Variaciones constantes en la presión de vacío

#### **Rotámetro**

- Variaciones constantes por rotámetro
- Señales intermitentes en el controlador

#### **Cilindros**

- Sellos defectuosos e irregulares

Por estos motivos se realizó el plan de acción de condiciones básicas de la línea R2, con su respectiva solución, ANEXO C. En total se identificaron 9 condiciones a solucionar.

### **2.3.2. Proceso de identificación de causas**

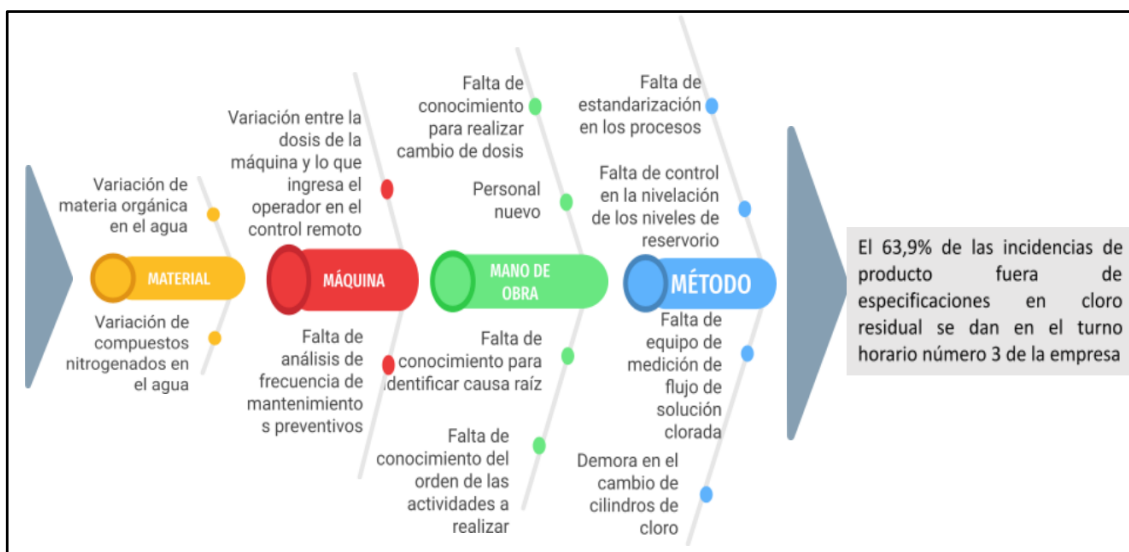
Con las condiciones básicas en buen estado de la línea R2, se procedió a realizar una lluvia de ideas con el personal clave para levantar la información de las causas del problema enfocado, identificado como falta de control en la dosificación de la solución clorada.

El personal clave involucrado fue:

- Operadores de cloración (2)
- Supervisores (4)
- Jefe de producción



El diagrama de Ishikawa fue utilizado para recopilar toda la información.



**Figura 2.13 Diagrama de Ishikawa posibles causas**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

### 2.3.3. Matriz causa y efecto por falta de control en dosificación de solución clorada

A continuación, se va a determinar el impacto que cada posible causa influye en el problema enfocado en la línea R2, a través de la matriz causa y efecto. Donde se establece un nivel de relación entre las causas y el problema, siendo estas 1,3,9.

**Tabla 7 Niveles de correlación matriz causa y efecto**

0	Ninguna correlación
1	Correlación remota
3	Correlación moderada
9	Correlación fuerte

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

En la tabla 8 se muestran los resultados de la metodología.

**Tabla 8 Resultados Matriz causa y efecto**

Matriz causa efecto/ Falta de control en dosificación de solución clorada		Variables de salida Y's
Variables X'S	<b>Cloración</b>	
	Falta de estandarización en los procesos	9
	Falta de control en la nivelación de los niveles de reservorio	9
	Falta de equipo de medición de flujo de solución clorada	3
	Demora en el cambio de cilindros de cloro	3
	Variación entre la dosis de la máquina y lo que ingresa el operador en el control remoto	9
	Falta de análisis de frecuencia de mantenimientos preventivos	3
	<b>Calidad Agua</b>	
	Variación de materia orgánica en el agua	1
	Variación de compuestos nitrogenados en el agua	1
	<b>Personal del área</b>	
	Falta de conocimiento para realizar cambio de dosis	9
	Personal nuevo	3
	Falta de conocimiento para identificar causa raíz	3
	Falta de conocimiento del orden de las actividades a realizar	3

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

Dentro de los resultados se les da prioridad a las de mayor puntaje.

### 2.3.4. Verificación de causas

Cada una de las causas determinadas se evaluaron con diferentes metodologías, entre ellas Go and see, 5 porque, Gráficas, análisis de capacidad o matriz de polivalencia. A continuación, se expone cada una de las causas con su respectiva verificación:

**Tabla 9 Plan de verificación de causas**

Causa potencial	Efectos potenciales de la falla	Como verificar	Estado
Falta de estandarización en los procesos de cloración	Cada operador tiene un método diferente de operación. Por tanto, pueden generarse errores de operación además de fallas en la comunicación del proceso. Al presentarse una falla, personal operativo no esta capacitado a profundidad en el concimeinto del área. Generandose fallas mayores al continuar usandose el sistema.	Go-See, Matriz de polivalencia.	Cerrado
Falta de control en la nivelación de los niveles de reservorio	El operador no tiene visibilidad de parámetro cloro residual, ni del nivel del reservorio, aun teniendo un medidor en línea. No genera a tiempo cambio en las dosis o niveles por no evidenciar la tendencia del mismo.	Go-See, Gráfica de cloro residual vs Nivel del reserorio.	Cerrado
Falta de conocimiento para realizar cambio de dosis( kg/h cloro)	Cada operador realiza los cambios de acuerdo a sus criterios, sin estar estandarizados. Generando baja o casi poca respuesta al cambio de dosis.	Go-See, Análisis del comportamiento de capacidad Cpk de cloro residual del proceso.	Cerrado
Variación entre la dosis de la máquina y lo que ingresa el operador en el control remoto	Existe una diferencia entre lo que dosifica la máquina y lo que se ingresa digitalmente, no se está teniendo el resultado de cloro inyectado esperado.	Go-See, Gráfica de kg/h ingresado por operador vs kg/h real dosificado por la máquina.	Cerrado

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla 9, cada posible causa se verificó con diferentes métodos explicados a continuación.

- **Falta de estandarización en los procesos de cloración**

Se realizó el análisis del 5 ¿Por qué?, que se muestra en la figura 2.14, con los operadores y supervisores, en donde se determinó que las causas raíces de esta causa potencial es debido a que los instructivos están muy generales y sin actualizar, además de que no están etiquetadas las válvulas, ni existe una metodología de comunican con evaluaciones periódicas.

Xs potenciales	Ronda1	Hipótesis	Ronda2	Hipótesis	Ronda3	Hipótesis	Ronda4	Hipótesis	Ronda5	Hipótesis	Acción
Falta de estandarización en los procesos de cloración	¿Por qué hay falta de estandarización de los procesos?		¿Por qué el operador realiza cada proceso según su criterio?								
	Porque el operador realiza cada proceso según su criterio	si	Porque los instructivos están muy generales y sin actualizar	CAUSA RAIZ							Levantamiento de actividades de cloración, generación de procedimientos estandarizados operacionales y establecimiento de una metodología clara de comunicación y evaluaciones periódicas
			Porque no están etiquetadas las válvulas ni partes principales del proceso para guiarse	CAUSA RAIZ							Levantamiento de información de válvulas, maquinas. Etiquetado e implementación de lista de equipos con su descripción.

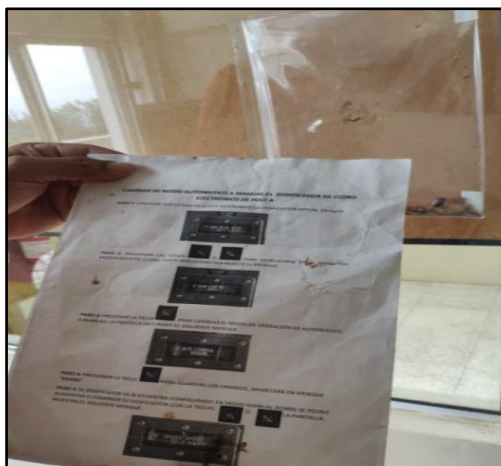
**Figura 2.14 Falta de estandarización en los procesos de cloración 5 ¿Por qué?**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.



**Figura 2.15 Válvulas y tuberías sin etiquetar**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.



**Figura 2.16 Instructivos desactualizados**

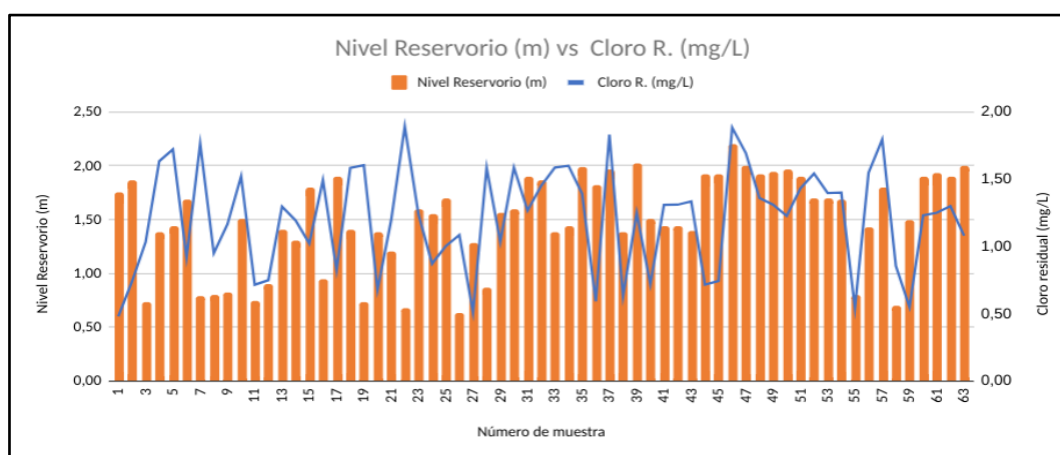
Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

- **Falta de control en la nivelación de los niveles del reservorio**

Se verificó que, en el sitio los operadores no tenían acceso al scada para visualizar el cloro residual resultante del medidor en línea y el nivel del reservorio. Además de no tener ningún elemento que les dé una tendencia para poder tomar decisiones de cambio de dosis solo hasta que ya se sale de la especificación operacional.

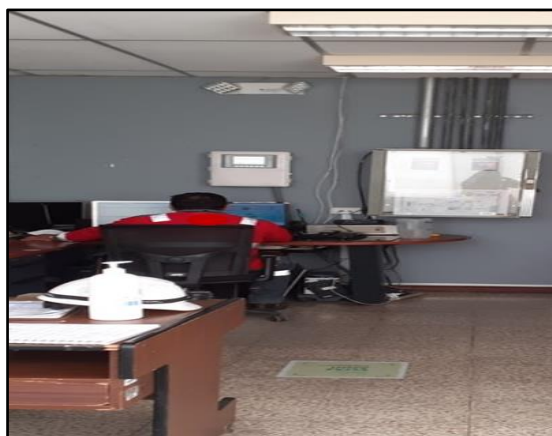
Se analizaron los datos del turno 3 del nivel del reservorio versus el cloro residual resultante, con la finalidad de evidenciar la tendencia a de los niveles a tener una variación permanente, al igual que el cloro residual. Se puede evidenciar en la figura 2.17.

Se tomaron 63 datos en 8 días dentro del turno 3, en el periodo de medición.



**Figura 2.17 Nivel del reservorio versus Cloro residual, en un periodo de 8 días en el turno 3.**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.



**Figura 2.18 Verificación de la causa Falta de control visual**

Fuente: Corrales, 2021.

Elaboración propia.

- **Falta de conocimiento para realizar cambio de dosis**

Se realizó el análisis del 5 ¿Por qué? Con los operadores y supervisores, llegándose a la conclusión que no hay un criterio estandarizado de cambio de Kg/h de cloro. Se puede evidenciar en la figura 2.19.

Xs potenciales	Ronda1	Hipótesis	Ronda2	Hipótesis	Ronda3	Hipótesis	Ronda4	Hipótesis	Ronda5	Hipótesis	Acción
Falta de conocimiento para realizar cambio de dosis	¿Falta de conocimiento para realizar cambio de dosis?	sí	¿Por qué el operador ajusta según su criterio los Kg de cloro?								
	El operador ajusta según su criterio los Kg de cloro		Porque no hay un criterio estandarizado de cambio de Kg								Definir criterios de cambio de Kg de cloro

**Figura 2.19 Falta de conocimiento para realizar cambio de dosis 5 ¿Por qué?**

Fuente: Corrales, 2021.

Elaboración propia.

Con la finalidad de evaluar el resultado de no tener un criterio estandarizado de cambio de dosis de cloro (kg/h), se procede a realizar un análisis de capacidad del proceso de cloración con los datos de cloro residual del turno 3 recolectados en la etapa de medición, durante 8 días.

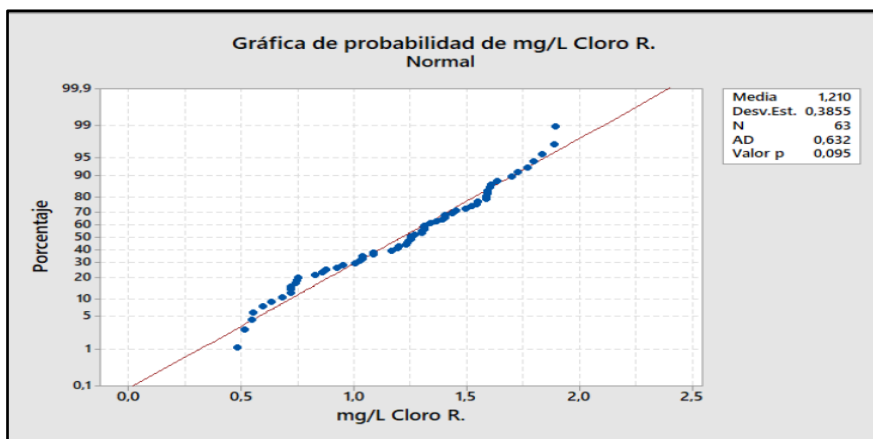


Figura 2.20 Gráfica de normalidad de los datos de cloro residual (mg/l)

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

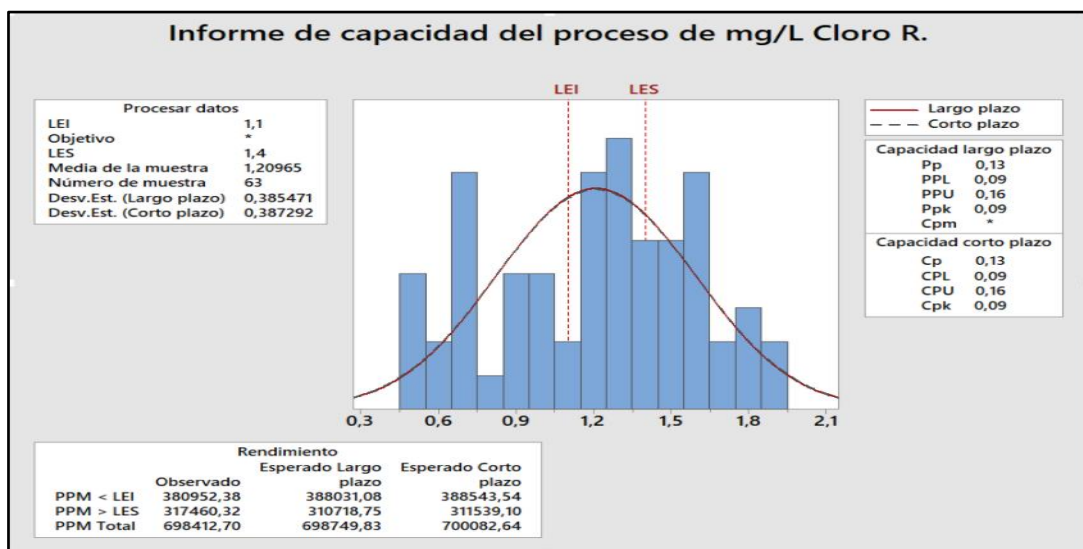


Figura 2.21 Informe de Capacidad del proceso con los datos de cloro residual (mg/l)

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

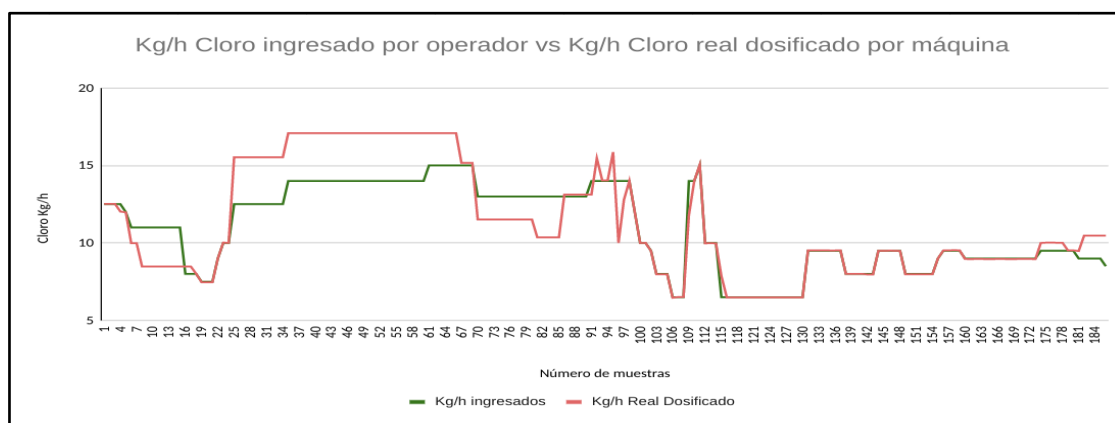
Según la figura 2.21, los datos muestran un  $C_{pk}$  de 0,09, por tanto, se puede determinar que el proceso es no adecuado, requiriendo un análisis inmediato. Este valor de  $C_{pk}$  es el punto de partida para evaluar los resultados después de la realización del proyecto.

- **Variación entre la dosis real que dosifica la máquina y el valor ingresado por el operador.**

La dosificación de cloro (kg) se realiza de manera remota desde la sala de operación, sin embargo, en repetidas ocasiones los operadores no notan el cambio al subir o bajar los kg/h de cloro.

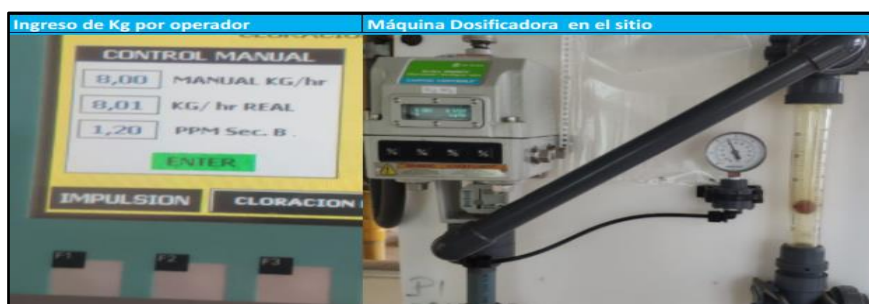
Se realizó una gráfica de líneas entre los kg/h de cloro ingresados por el operador y los kg/h de cloro real dosificado por la máquina. En total se graficaron 184 datos recolectados en un periodo de dos semanas.

En la figura 2.22 se pueden observar las diferencias entre lo ingresado y lo dosificado real por la máquina cloradora.



**Figura 2.22 Gráfica de líneas de Kg/h Cloro ingresado por operador vs Kg/h Cloro real dosificado**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.



**Figura 2.23 Máquina cloradora remota y en sitio**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

En tabla 10 se muestra las causas potenciales X's con sus respectivas causas raíces de los análisis previos realizados.



**Tabla 10 Plan de verificación de causas**

Causas potenciales X's	Causa Raíz	Solución
Falta de estandarización en los procesos de cloración	Porque los instructivos están muy generales y sin actualizar, no están etiquetadas las válvulas ni partes principales del proceso para guiarse	Levantamiento de actividades de cloración, generación de procedimientos estandarizados operacionales y establecimiento de una metodología clara de comunicación y evaluaciones periódicas . Levantamiento de información de válvulas, maquinas. Etiquetado e implementación de lista de equipos con su descripción.
Falta de control en la nivelación de los niveles de reservorio	No existe un control visual, ni tendencias de cloro residual vs nivel de reservorio.	Colocación de equipo para control visual, activación de scada para pantallas y graficas de tendencia con un tablero.
Falta de conocimiento para realizar cambio de dosis	No se encuentran definidos los criterios para cambio	Definir criterios de cambio de Kg de cloro con diseño de experimento y cálculo de concentración.
Variación entre la dosis de la máquina y lo que ingresa el operador en el control remoto	Porque no existe un control periódico entre los datos ingresados y los que dosifica la máquina.	Calibración periódica del equipo, establecimiento de un control periódico de la tendencia de los datos.

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

## 2.4. Etapa de implementación

En la etapa de implementación se desarrolló el plan de implementación que se muestra en la tabla 11, además de la identificación de las soluciones para cada una de las causas raíces.

**Tabla 11 Solución a causas raíces**

Causas potenciales X's	Causa Raíz	Solución	Estado
Falta de estandarización en los procesos de cloración	Porque los instructivos están muy generales y sin actualizar, no están etiquetadas las válvulas ni partes principales del proceso para guiarse	Levantamiento de actividades de cloración, generación de procedimientos estandarizados operacionales y establecimiento de una metodología clara de comunicación y evaluaciones periódicas .  Levantamiento de información de válvulas, maquinas. Etiquetado e implementación de lista de equipos con su descripción.	Parcialmente cerrado
Falta de control en la nivelación de los niveles de reservorio	No existe un control visual, ni tendencias de cloro residual vs nivel de reservorio.	Colocación de equipo para control visual, activación de scada para pantallas y graficas de tendencia con un tablero.	Cerrado
Falta de conocimiento para realizar cambio de dosis	No se encuentran definidos los criterios para cambio	Definir criterios de cambio de Kg de cloro con diseño de experimento y cálculo de concentración.	Cerrado
Variación entre la dosis de la máquina y lo que ingresa el operador en el control remoto	Porque no existe un control periódico entre los datos ingresados y los que dosifica la máquina.	Calibración periódica del equipo, establecimiento de un control periódico de la tendencia de los datos.	Cerrado

Fuente: Corrales, 2021.

Elaboración propia.

### 2.4.1. Levantamiento de actividades de cloración, generación de Procedimientos estandarizados, etiquetado, metodología de capacitación y evaluación.

Para el levantamiento de actividades se trabajó con los operadores de cloración, supervisores y la jefatura de producción, a través de una matriz desarrollo que se encuentra en el ANEXO D. Donde se realiza la identificación en sitio de las actividades, su proceso, anomalías, entre otros.

Como resultado de este levantamiento se identificaron 15 actividades del área de cloración. Además de la generación de un formato estándar para la creación de los procedimientos estandarizados (POS) de las actividades levantadas. Donde se toman en cuenta temas de seguridad industrial, duración de la tarea, video de la tarea y fotos indicativas. Este POS debe ser conciso y de fácil entendimiento para la realización de la atarea, la finalidad del mismo es evitar fallas al realizar la actividad y estandarizarlas entre las guardias. Un ejemplo de POS se puede observar en la figura 2.24.

Para la elección del formato se realizó un taller con el personal operativo y supervisores, como resultado se obtuvo un formato de utilidad para la operación.

Se desarrolló una metodología para la realización de cada procedimiento estandarizado, que tenía las siguientes consignas:

- Levantamiento de actividades, previo a la realización de los POS (15 identificadas).
- Lista de iconos estándar.
- Se evaluaban 4 actividades por semana. Esta actividad se realizó durante 4 semanas.
- En la semana se realizaron dos reuniones con la jefatura y supervisores para consolidar los POS.
- Se realizaban reuniones quincenales con PSS para evaluar videos e implementos de seguridad industrial.
- Los videos tenían un plazo de 15 días para su realización, dependiendo de la complejidad.
- Los POS deben estar enlazados con nomenclatura de etiquetas.

















<b>Tarea:</b> Cambio de kg/h en máquina de poscloración de forma local mediante perilla-Cloración	 En Operación					
 CL8 	<b>Frecuencia</b>					
<b>Objetivo de la tarea:</b> Cambiar los kg/h de una máquina de poscloración para cumplir con el rango de cloro residual a la salida de los reservorios.	<b>Ad-Hoc</b>					
	<b>Información importante:</b> ¡Tarea de alto riesgo! Se deben tener las competencias necesarias y seguir los lineamientos del estándar de manejo de químicos peligrosos. Revisión de P5S. El cambio de kg/h mediante perilla se realiza cuando no es posible realizarlo mediante el HMI ni mediante la botonera de la máquina de poscloración. Referencia: Instructivo IN-SGP-PT-09 (link 1) y matriz IPER (Link 2).					
	<b>Descripción de la tarea:</b> 1. Acudir a la sala de cloración e identificar la máquina de poscloración en la que se realizará el cambio (Foto 1). 2. Mantener presionado y girar la perilla de la máquina de poscloración hasta que el flotador del rotámetro marque el valor de kg/h deseado (Foto 2). Para aumentar los kg/h de cloro gas, mantener presionado y girar la perilla en el sentido de las manecillas del reloj (Foto 3). Para disminuir los kg/h de cloro gas, mantener presionar y girar la perilla en sentido contrario de las manecillas del reloj (Foto 4). 3. Registrar la hora y el cambio de kg/h. 4. Verificar luego de una hora que el peso de la báscula haya disminuido los kg especificados en el rotámetro. En caso de haber una diferencia, ajustar los kg/h girando la perilla para aumentar o disminuir el caudal másico hasta conseguir el cambio correspondiente de kg en una hora en la báscula (Foto 5).					
	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;">                     QR. Video de la actividad                 </div>					
						
						
<b>Medidas en caso de anomalías o defectos:</b> En caso de alguna falla de cualquier equipo (rotámetro, báscula, medidor de gases) paralizar la actividad, reportar al supervisor de turno y gestionar falla en fractal y tablero de falla.						

Figura 2.24 Formato de procedimientos estandarizados

Fuente: Corrales, 2021.  
 Elaboración propia.

Se realizó el levantamiento de equipos y válvulas registradas en un archivo digital ANEXO E, con el fin de tener la información ya registrada y poder enlazarla con los procedimientos estandarizados.

**Tabla 12 Matriz de levantamiento de equipos y válvulas**

No.	Proceso	Nombre	TAC	Descripción	Dimensiones	Foto 1
1	Cloración	Válvula 1	V1	Válvula de tambores de cloración	A4 de tambores V1	
2	Cloración	Válvula 2	V2	Válvula de tambores yoke		
3	Cloración	Válvula 3	V3	Válvula de tambores manifold		
4	Cloración	Válvula 4	V4	Válvula principal del manifold	"Alto (H): 20m pt: 40 Tipo: Calbr"	
5	Cloración	Válvula 5	V5	Válvula de bypass		
6	Cloración	Sistema de vacío 1B	C1	Sistema de vacío 1B		
7	Cloración	Sistema de vacío 2B	C2	Sistema de vacío 2B		
8	Cloración	Actuador 3V-B	Actuador 3V-B	Actuador		
9	Cloración	(Sistema Tres Válvulas 1 - Sector B superior)	STV2-BS	Sistema Tres Válvulas		
10	Cloración	(Sistema Tres Válvulas 1 - Sector B inferior)	STV2-BI	Sistema Tres Válvulas		
11	Cloración	(Sistema Tres Válvulas 2 - Sector B Superior)	STV1-BS	Sistema Tres Válvulas		
12	Cloración	(Sistema Tres Válvulas 2 - Sector B inferior)	STV1-BI	Sistema Tres Válvulas		
13	Cloración	(Sistema Tres Válvulas - Sector B central)	STV-BC	Sistema Tres Válvulas		
14	Cloración	Sistema de vacío 1A	C3	Sistema de vacío 1A		
15	Cloración	Sistema de vacío 2A	C4	Sistema de vacío 2A		
16	Cloración	Actuador 3V-A	Actuador 3V-A	Actuador		
17	Cloración	(Sistema Tres Válvulas 1 - Sector A superior)	STV2-AS	Sistema Tres Válvulas		
18	Cloración	(Sistema Tres Válvulas 1 - Sector A inferior)	STV2-AI	Sistema Tres Válvulas		
19	Cloración	(Sistema Tres Válvulas 2 - Sector A Superior)	STV1-AS	Sistema Tres Válvulas		
20	Cloración	(Sistema Tres Válvulas 2 - Sector A inferior)	STV1-AI	Sistema Tres Válvulas		

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.



**Figura 2.25 Tuberías y válvulas etiquetadas**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

Como parte de la metodología de comunicación se implementaron las lecciones de un punto, en donde se tratan los temas importantes con los colaboradores y son expuestos por semana y por turno.

Esta metodología de lecciones de un punto permite disminuir los tiempos de capacitación y formación, normaliza los procedimientos simples y fomenta la cultura organizacional.



**LECCION DE UN PUNTO**  
CLORACION  
SEMANAL  
CL-001

Fecha elaboración:  
07/01/2021  
Elaborado por:  
Laura Corrales

ESTADO DEL YOKE EN CAMBIO DE TAMBORES



FÁCIL ROTACION



ENDURECIDO POR LA OXIDACION



PERNO UNIDO AL YUNQUE



PERNO SEPARADO DEL YUNQUE



PERNO GIRA FÁCILMENTE



PERNO ENDURECIDO POR LA OXIDACION



ASIENTO DEL EMPAQUE BIEN MARCADO



ASIENTO DEL EMPAQUE GASTADO POR OXIDACION

**RECUERDE SIEMPRE COMPROBAR LAS FUGAS ANTES Y DESPUES DE CADA CAMBIO**

RECORD DE ENTRENAMIENTO			
NOMBRE	FIRMA	FECHA	ENTRENADOR

**Figura 2.26 Lección de un punto semanal**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia

Para realizar el plan de talleres se evaluó el conocimiento de los 4 operadores de cloración respecto a la línea R2. Se elaboró una matriz de polivalencia o habilidades ANEXO F. A continuación, se muestra en la tabla 13 la calificación y descripción usada.

**Tabla 13 Rangos de calificación matriz de polivalencia**

a	0	La persona no ha recibido inducción
f	1	La persona recibe teóricamente la inducción
k	2	La persona realiza la actividad paracticamente con acompañamiento
o	3	La persona realiza la actividad sola y se desempeña bien
u	4	La persona realiza y enseña la actividad

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

De acuerdo a la calificación obtenida de la matriz de polivalencia, se determina que los temas que hay que reforzar urgentemente en los operadores de cloración es:

- Conocimiento de la válvula de vacío
- Análisis de falla
- Precauciones en el uso de los equipos
- Mantenimiento preventivo

Con estos resultados se elaboró un plan de talleres de los operadores de la línea R2 ANEXO H, y un plan de evaluaciones con la finalidad de comprobar el conocimiento a lo largo del tiempo, se muestra en la tabla 14.

**Tabla 14 Plan de evaluaciones**

Sección	Área	Encargado	Evaluación
Conocimiento del equipo	Flujómetro	Mantenimiento	Semestral
	Cilindros	Proveedor	Mensual
	Válvula de vacío	Mantenimiento	Mensual
	Sistema 3 válvulas	Mantenimiento	Mensual
Operación	Válvula angular	Mantenimiento	Semestral
	Cloradora	Mantenimiento	Semestral
	Operación	Mantenimiento	Trimestral
	Mantenimiento	Mantenimiento	Trimestral
	Análisis de falla	Mantenimiento	Mensual
	Precauciones del equipo	Mantenimiento	Mensual

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

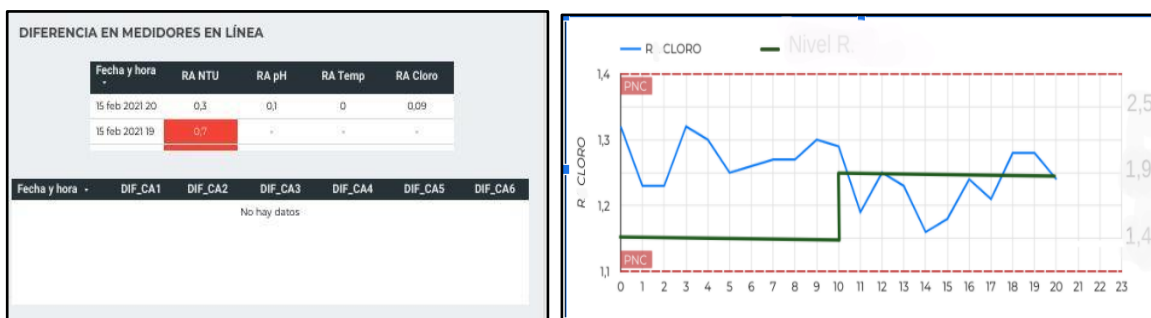
## 2.4.2. Colocación de equipo para control visual y gráficas de tendencia para control.

Dentro del área se instalaron pantallas con la finalidad de tener una reacción inmediata al parámetro cloro residual y nivel de reservorio, además del acceso al scada del medidor en línea de cloro residual y nivel. Se desarrollaron e implementaron gráficas de tendencia de cloro en el tiempo, y gráficos para analizar la tendencia del porcentaje de producto fuera de especificación por cloro residual. Estos tableros fueron desarrollados usando Data Studio del paquete de Google.



**Figura 2.27 Control visual**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.



**Figura 2.28 Tablero tendencia de cloro residual de la línea R2**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

## 2.4.3. Definición de criterios de cambio de kg/h de cloro con diseño de experimento

Los operadores no tenían conocimiento de qué podía influenciar los mg/l resultantes de cloro residual, debido a que no tenían en consideración factores como nivel de reservorio ni Kg/h de cloro, por lo tanto, se realizaba con prueba y error.

Los factores a evaluar son, los Kg/h de cloro dosificados y Nivel de reservorio, el objetivo será 1,20 mg/L de cloro residual.



Los niveles bajo y alto de reservorio se determinaron con el personal operativo, jefatura de producción y gerencia. Estos niveles se determinaron como los óptimos sin alterar el proceso y poder controlarlo con mayor facilidad. Teniendo un nivel de reservorio bajo de 1,4 m y alto de 1,9 m.

Partiendo de los niveles de reservorio planteados, se procedió a calcular teóricamente la cantidad de cloro residual a dosificar utilizando la fórmula de concentraciones. Además de medir el caudal de inyección de solución clorada con un caudalímetro, para determinar de manera teórica un aproximado de Kg/h a dosificar. Como se muestra en la figura 2.29 y 2.30.

BC:	1h		1,4	metros
V2 x	C2	=	V1 x	C1
L	mg/L	=	L	mg/l
9000	1,2	=	14400	?
	C1	=	0,75	mg/L
C1 x	V1			
mg/l	L	=	10800	mg
0,75	14400	=	11	Kg

**Figura 2.29 Cálculo de Kg/h de cloro residual para 1,4 metros de nivel**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

BC:	1h		1,9	metros
V2 x	C2	=	V1 x	C1
L	mg/L	=	L	mg/l
12000	1,2	=	14400	?
	C1	=	1	mg/L
C1 x	V1			
mg/l	L	=	14400	mg
1	14400	=	14	Kg

**Figura 2.30 Cálculo de Kg/h de cloro residual para 1,9 metros de nivel**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

Cabe indicar que los cálculos son aproximados, por lo que es de suma importancia la comprobación.

En la tabla 15 se muestran los factores del diseño de experimento con los niveles bajo y alto correspondientes.

**Tabla 15 Factores y niveles para diseño de experimento**

FACTORES	Niveles	
	Bajo	Alto
Cloro (Kg/h)	11	14
Nivel de reservorio (m)	1,4	1,9
<b>Objetivo</b>		
Cloro residual (mg/L)	1,2	

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

Se analizaron los datos y se compararon a nivel de planta a través de un diseño de experimento. El diseño de experimentos ayuda a investigar los efectos de las variables de entrada sobre una variable de salida al mismo tiempo.

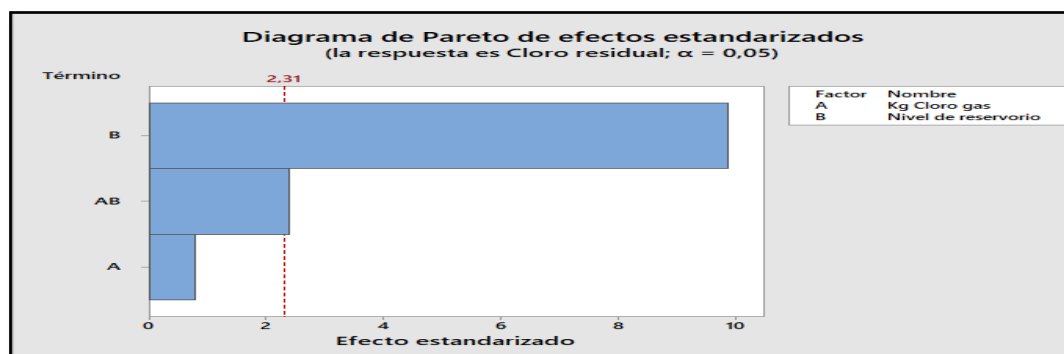
En este diseño de experimento se seleccionó un experimento de  $2^3$ , teniendo como variables de entrada Kg/h de cloro y nivel de reservorio, mientras variable de salida es el cloro residual mg/L.

Resumen del modelo			
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0108012	92,87%	90,20%	83,96%

**Figura 2.31 Resumen del Modelo**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

El modelo muestra un R cuadrado de 92.87% mostrando una correlación fuerte entre los factores y la respuesta



**Figura 2.32 Diagrama de Pareto efectos estandarizados**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

El diagrama de efectos estandarizados nos muestra que efectivamente la combinación Kg cloro y nivel de reservorio puede darnos como respuesta Cloro residual.

Posteriormente se evalúan los residuos, con la finalidad de determinar oscilaciones, tendencias, normalidad, entre otros.

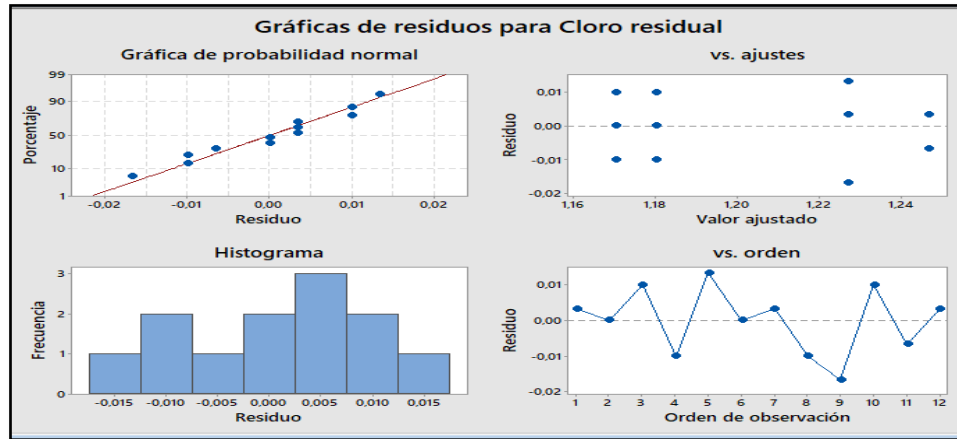


Figura 2.33 Gráficas de residuos para cloro residual

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia

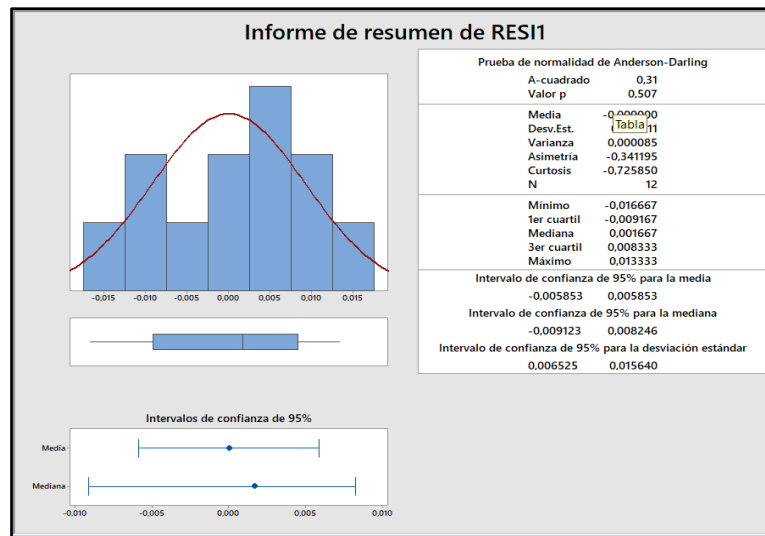
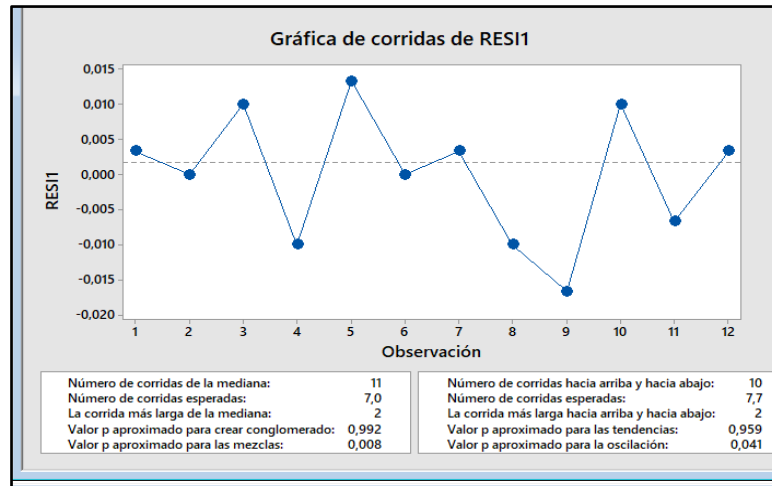


Figura 2.34 Informe de resumen de residuos

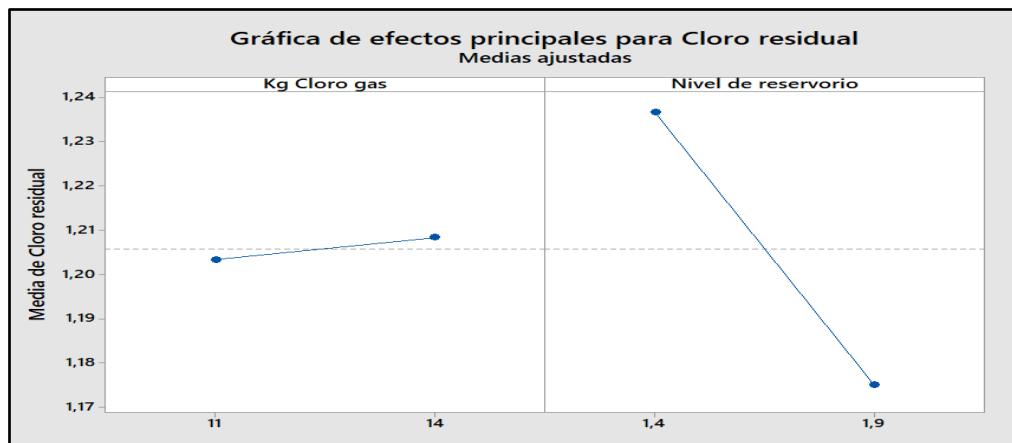
Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.



**Figura 2.35 Gráfica de corridas de los residuos**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

De acuerdo al análisis realizado a los residuos se puede concluir que los residuos son normales, con tendencia a mezclas. Sin embargo, el modelo será tomado con planes de mejora que debido al tiempo del proyecto se abordará en un futuro.



**Figura 2.36 Gráfica de efectos principales para cloro residual**

Fuente: Corrales, 2021.

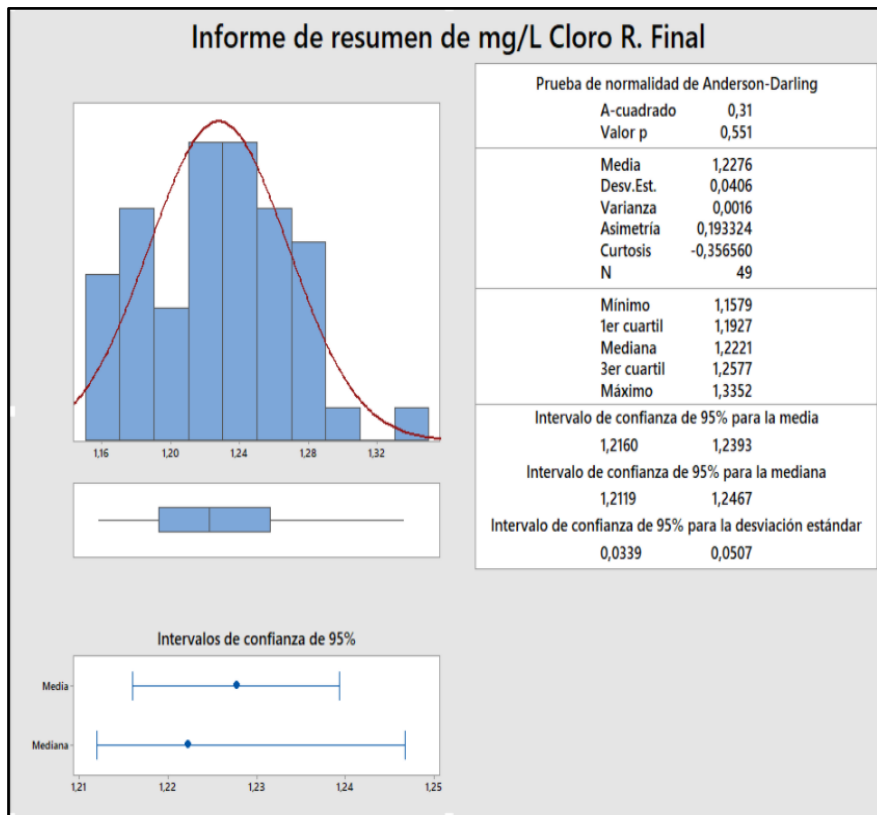
Elaboración propia

De acuerdo al análisis y necesidades del proceso la combinación ideal para un promedio de 1,20 mg/L en condiciones normales:

Nivel de reservorio: 1,9 m

Kg Cloro Residual: 11 Kg

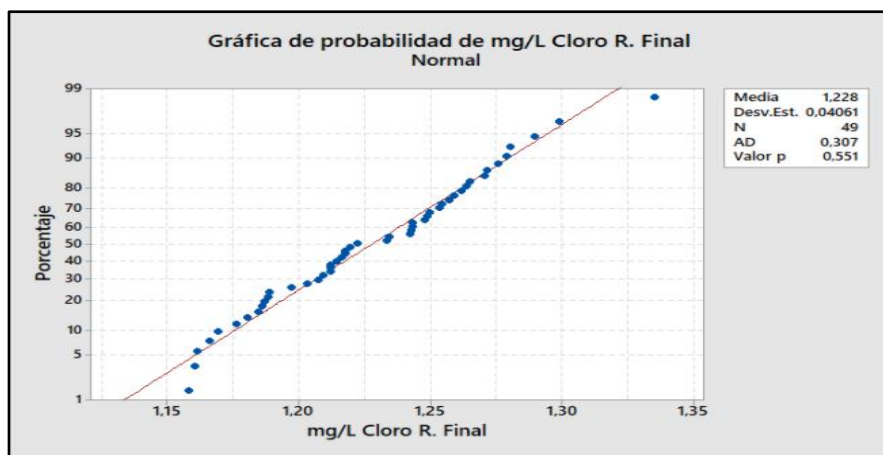
Posteriormente se procede a realizar 49 corridas en campo con el fin de comprobar resultados, con el nivel 1,9 m y los Kg en 11. Evaluando los resultados a través de un informe resumen.



**Figura 2.37 Informe de resumen cloro residual final**

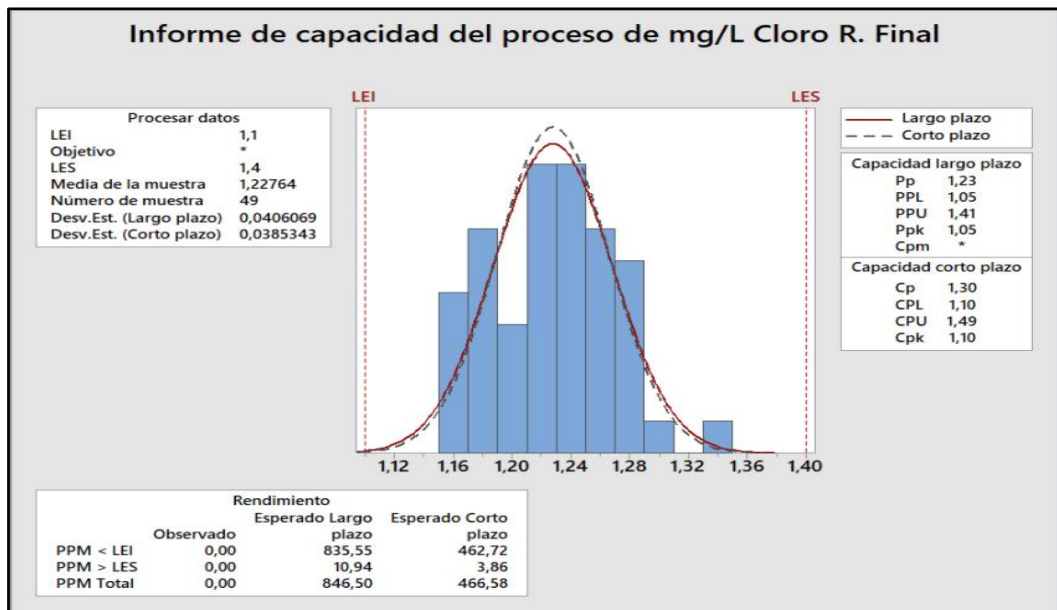
Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

Los datos de cloro residual resultantes de la corrida en la figura 2.37 muestran una tendencia normal con una media de 1,227 mg/L.



**Figura 2.38 Gráfica de normalidad de cloro residual al final de las corridas**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia



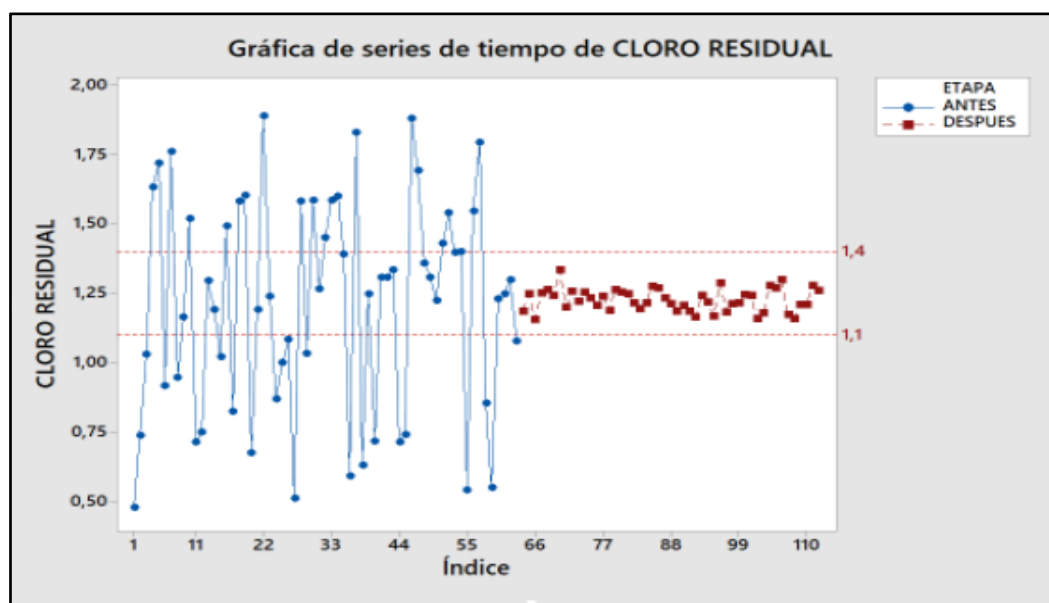
**Figura 2.39 Informe de capacidad de cloro residual final de las corridas**

Fuente: Corrales, 2021.

Elaboración propia.

En la figura 2.38 se tiene evidencia suficiente de que los datos son normales, ya que el valor p es mayor a 0,05. Adicionalmente en la figura 2.39, se puede observar un Cpk de 1,10. Este Cpk resultante es superior al valor inicial de los datos de cloro residual, que era de 0,09. Lo que indica una mejora en el proceso.

A continuación, en la figura 2.40 se muestra una gráfica de tiempo antes y después de la corrida del experimento. Donde se pueden observar los valores de después con los 49 datos de la corrida, dentro de los límites de operación establecidos.



**Figura 2.40 Gráfica de series de tiempo de cloro residual**

Fuente: Corrales, 2021.

Elaboración propia.

#### 2.4.4. Calibración de equipo dosificador y establecimiento de frecuencia de comprobación de datos de maquina cloradora (kg/h).

De acuerdo al análisis realizado, la maquina cloradora necesitaba una calibración, al igual que la comprobación del sistema remoto.

Se estableció con mantenimiento tres verificaciones al año y el análisis de los datos quincenales de los mismos, descargados de la memoria del quipo. Adicionalmente se generó un POS para cambiar de manual a automático la máquina cloradora.

En la figura 2.41 se puede observar la mejora entre los datos de kg/h de cloro ingresados por el operador y los kg/h de cloro real dosificados por la máquina.



**Figura 2.41 Gráfica de líneas de Kg/h Cloro ingresado por operador vs Kg/h Cloro real dosificado**

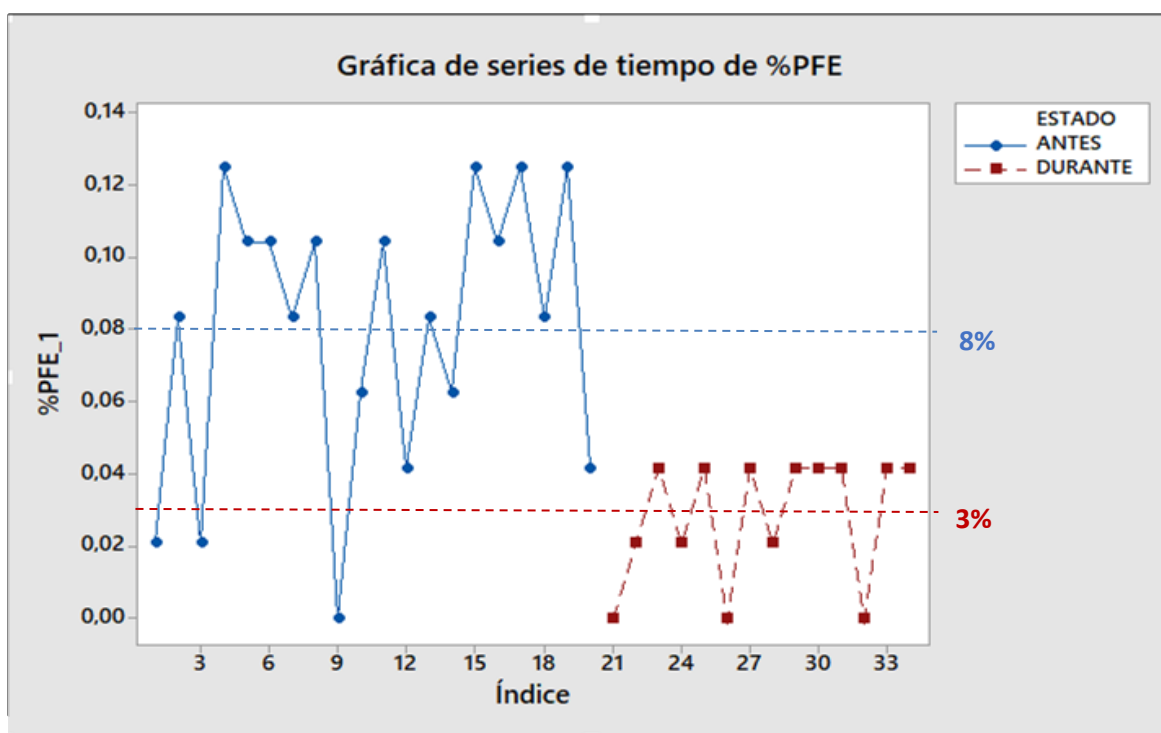
Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

## CAPÍTULO 3

### 3. RESULTADOS

Se procede a analizar el comportamiento de la línea R2 una vez realizadas todas las mejoras anteriormente descritas. Para este análisis se tomaron 14 datos de porcentaje de producto fuera de especificación que representan a los datos de durante, estos datos corresponden a catorce días del mes de febrero del 2021.

Para los datos del antes, se tomaron los puntos de partida del proyecto anteriormente evaluados de los 20 días de la etapa de medición.



**Figura 3.1 Serie de tiempo % PFE**

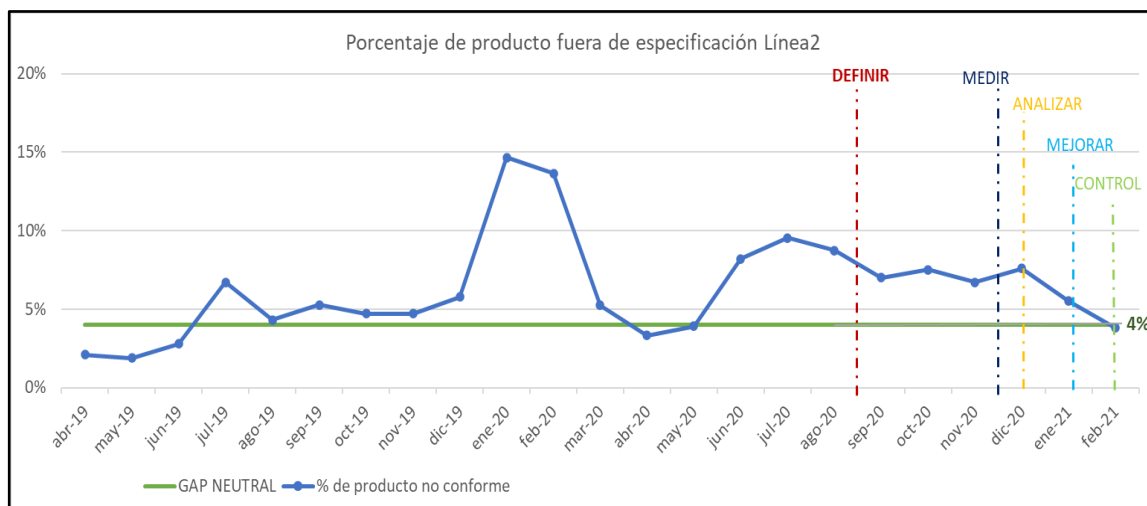
Fuente: Corrales, 2021.

Elaboración propia.

Como se muestra en la figura 3.1 el porcentaje de producto fuera de especificación ha disminuido de un promedio 8% a 3 %, lo que representa el 62,5% de disminución en la línea R2 según los datos tomados.

A continuación, en la figura 3.2 se muestra el comportamiento del porcentaje de producto fuera de especificación de la línea R2 en los meses tomados desde la línea base hasta el desarrollo del proyecto.



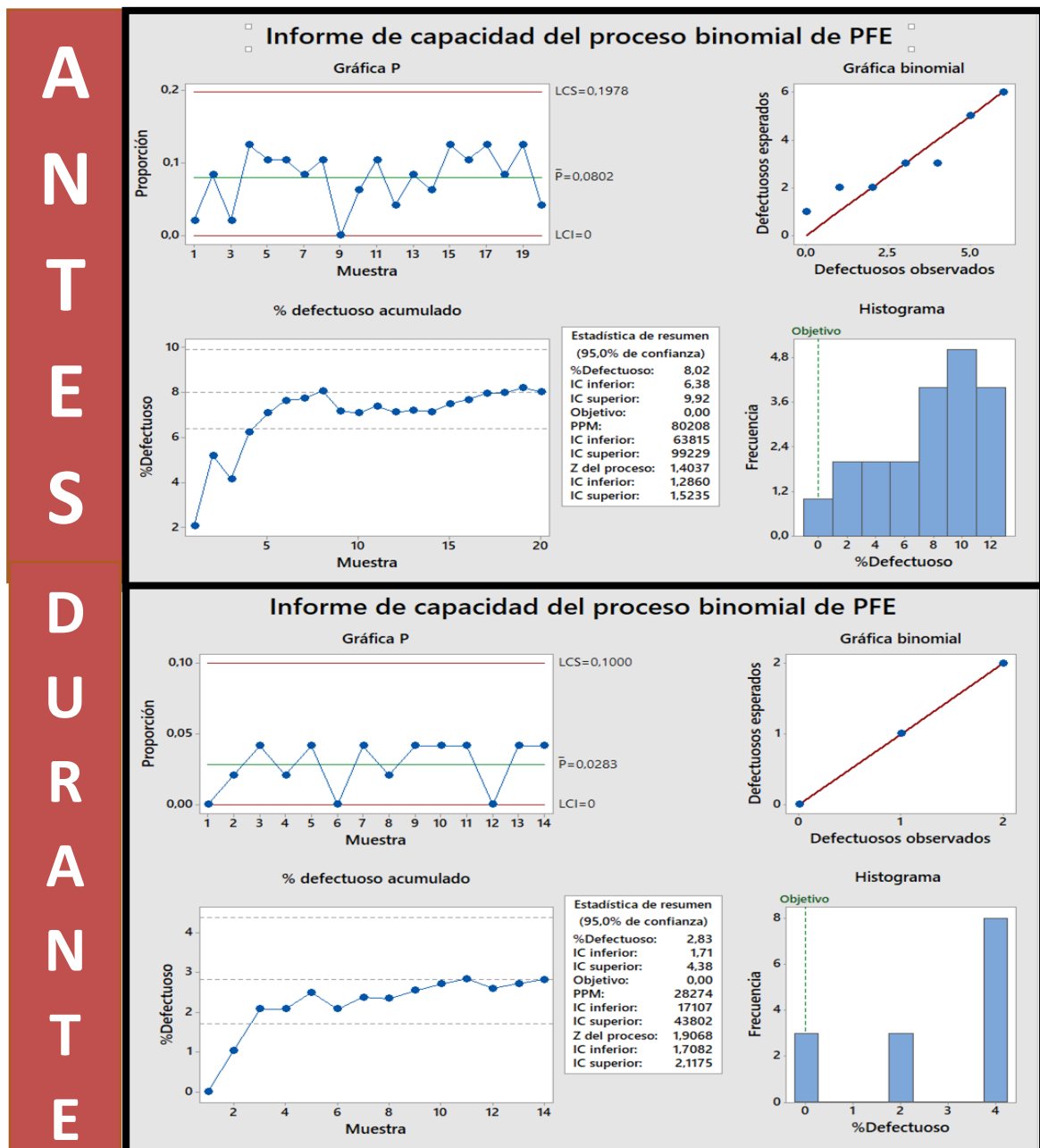


**Figura 3.2 Porcentaje de producto fuera de especificación línea R2**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

El proyecto empezó su etapa de definición a mediados de agosto de 2020, hasta la última etapa en febrero del 2021.

Con los datos obtenidos después de las mejoras desde el 19 de febrero del 2020 hasta el 4 de marzo del 2020 se procedió a realizar el análisis de capacidad binomial. Como se muestra el comparativo en la figura 3.3.



**Figura 3.3 Informe de capacidad binomial antes y durante**

Fuente: Corrales, 2021.  
Elaboración propia.

En la figura 3.3, las partes por millón defectuosas (PPM Def) que se esperaba antes, era que 80208 de 1000000 de productos estén por fuera de las especificaciones (defectuosos), mientras durante el proyecto se esperan 28274 de 1000000 productos que representa el 2,83% comparado con el 8,02% antes.

Los límites de confianza superior e inferior (IC) durante el proyecto indican que el proceso puede estar 95% seguro de que el porcentaje defectuoso del proceso se encuentra dentro del intervalo de 1,7082% y 2,1175%.

$$\text{Nivel sigma} = Z \text{ del Proceso} + 1,5$$

$$\text{Nivel sigma} = 1,9068 + 1,5$$

$$\text{Nivel sigma} = 3,4$$

$$C_{pk} = 1,167$$

Nivel Sigma	Sigma + 1.5	1.5 - Sigma	Probabilidad Buenos	Probabilidad Defectos	DPMO	Cpk
0	0,933192799	0,933192799	0	1	1.000.000,00	0,000
0,5	0,977249868	0,841344746	0,135905122	0,864094878	864.094,88	0,167
0,75	0,987775527	0,773372648	0,21440288	0,78559712	785.597,12	0,250
1	0,993790335	0,691462461	0,302327873	0,697672127	697.672,13	0,333
1,25	0,997020237	0,598706326	0,398313911	0,601686089	601.686,09	0,417
1,5	0,998650102	0,5	0,498650102	0,501349898	501.349,90	0,500
1,75	0,999422975	0,401293674	0,598129301	0,401870699	401.870,70	0,583
2	0,999767371	0,308537539	0,691229832	0,308770168	308.770,17	0,667
2,25	0,999911583	0,226627352	0,77328423	0,22671577	226.715,77	0,750
2,5	0,999968329	0,158655254	0,841313075	0,158686925	158.686,93	0,833
2,75	0,999989311	0,105649774	0,894339538	0,105660462	105.660,46	0,917
3	0,999996602	0,066807201	0,933189401	0,066810599	66.810,60	1,000
3,25	0,999998983	0,040059157	0,959939826	0,040060174	40.060,17	1,083
3,5	0,999999713	0,022750132	0,977249581	0,022750419	22.750,42	1,167
3,75	0,999999924	0,012224473	0,987775451	0,012224549	12.224,55	1,250
4	0,999999981	0,006209665	0,993790316	0,006209684	6.209,68	1,333

**Figura 3.4 Nivel sigma**

Fuente: Blackberry&Cross,2020  
Sigma Level

El  $C_{pk}$  del proceso incrementó de 1 a 1,167, demostrándose que las mejoras implementadas han mejorado la capacidad del proceso.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La metodología DMAIC ofrece una oportunidad para mejorar la reacción y por tanto el proceso en una empresa con la finalidad de tener mejores respuestas ante el proceso.

Es importante destacar que el éxito de esta metodología no solo depende de los conocimientos estadísticos sino también del compromiso de los dueños del proceso y encargados de la gerencia. Adoptar una nueva metodología depende en gran medida de su talento humano y la aceptación de los cambios.

### 4.1 Conclusiones

- Se identificó que la mayor cantidad de producto fuera de especificación de cloro residual de la línea R2 se encontraba en el turno 3, que representaba el 63,9% del total de producto fuera de especificación.
- Se determinó que las causas raíces que generaban la falta de control en la dosificación de la solución clorada eran:
  - Falta de estandarización en los procesos
  - Falta de control en la nivelación de los noveles del reservorio.
  - Variación entre la dosis de la máquina y lo que ingresa el operador en el control remoto
  - Falta de conocimiento para realizar cambio de dosis
- Se implementaron procedimientos operativos estandarizados (POS) de la línea R2.
- Se adquirió pantalla con conexión a medidores en línea de cloro residual y nivel de reservorio, además del establecimiento de un tablero de tendencias de cloro residual y nivel de reservorio con alarmas visuales.
- Se levantó información de la línea R2 (Válvulas, equipos y tuberías)
- Se establecieron las condiciones ideales para la dosificación de cloro de la línea R2, a través de un diseño de experimento, la cual es de 11 Kg/h de cloro a un nivel de 1,9m.
- Se disminuyó el porcentaje de producto fuera de especificaciones promedio de 8% a 3%.
- Se incrementó la capacidad del proceso ( $C_{pk}$ ) de 1 a 1,167.

## 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda la revisión mensual del uso de los procedimientos estandarizados en las actividades diarias.
- Se recomienda elaborar un registro de fallas del sistema de cloración por parte de mantenimiento.
- Se recomienda realizar la matriz de polivalencia semestralmente.
- Se recomienda revisar semanalmente el indicador de porcentaje de producto fuera de especificación.
- Se recomienda la verificación y cumplimiento de las condiciones básicas identificadas en el proyecto.

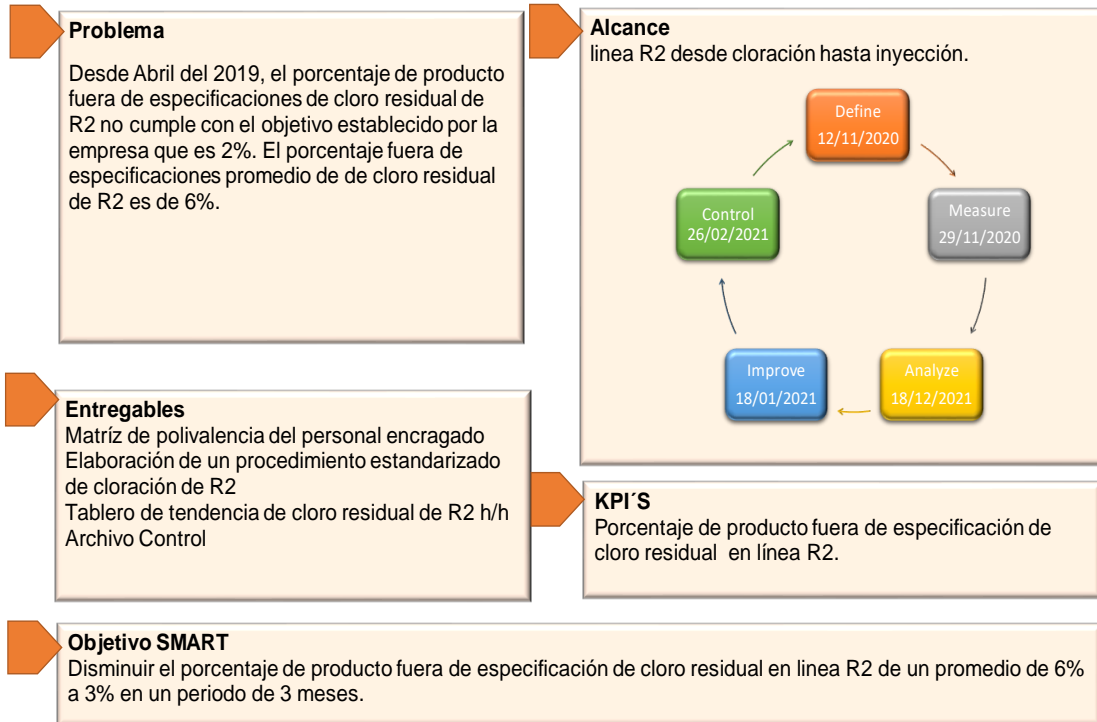
## BIBLIOGRAFÍA

- Blackberry&Cross. (2020). Sigma Level: Tabla de conversión DPMO  $C_{pk}$ . Yumpu. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/view/763184374/sigma-level-tabla-de-conversión-dpmo-cpk>.
- Garza Ríos, Rosario C., & González Sánchez, Caridad N., & Rodríguez González, Ernesto L., & Hernández Asco, Caridad M. (2016). Aplicación de la metodología DMAIC de Seis Sigma con simulación discreta y técnicas multicriterio. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 22( ),19-35. ISSN: . Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2331/233148815002>.
- Gómez, M. F. (2014). *Lean Manufacturing en español: Cómo Eliminar Desperdicios e Incrementar Ganancias*. Estados Unidos: Editorial Imagen.
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2009). *CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD Y SEIS SIGMA*. México: McGraw-Hill.
- Narottam, Mathiyazhagan K., Sharma V. (2020) *Defect Reduction in Manufacturing Industry Using Lean Six Sigma: Recent Advances in Mechanical Engineering*. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore.
- Ocampo, J. R., & Pavón, A. E. (2012). *Integrando la metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim*. Panamá.
- Rajadell Carreras, M., & Sánchez García, J. L. (2010). *LEAN MANUFACTURING La Evidencia de una necesidad*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Sarria, M. P., Fonseca, G. A. y Bocanegra, C. C. (2017). Modelo metodológico de implementación de lean manufacturing. *Revista EAN*, 83, PP 51 - 71. <https://doi.org/10.21158/01208160.n83.2017.1825>.
- Sushovan Ghosh & J. Maiti (2012) *Data mining driven DMAIC framework for improving foundry quality – a case study*. Springer, India

## **ANEXOS**

# ANEXO A

## PROJECT CHARTER










## ANEXO B





### DATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA ETAPA DE MEDICIÓN

Fecha	Hora	Categoría de Incumplimiento	Problemas en el sistema	Valores Cloro Residual	Guardia
11/29/2020	16:00	Internos	Falta de control	1.42	4
11/29/2020	17:00	Internos	Falta de control	0.46	1
11/29/2020	18:00	Internos	Falta de control	1.69	1
11/30/2020	24:00	Internos	Falta de control	1.44	1
11/30/2020	13:00	Internos	Falta de control	1.41	2
11/30/2020	15:00	Internos	Falta de control	1.07	2
12/1/2020	24:00	Internos	Falta de control	2.14	1
12/1/2020	02:00	Internos	Falta de control	1.42	2
12/1/2020	03:00	Internos	Choque de precloración	1.45	2
12/1/2020	04:00	Internos	Choque de precloración	1.75	2
12/1/2020	09:00	Internos	Choque de precloración	1.56	1
12/1/2020	14:00	Internos	Falta de control	0.80	1
12/1/2020	17:00	Internos	Falta de control	1.66	4
12/1/2020	18:00	Internos	Falta de control	0.84	4
12/1/2020	19:00	Internos	Falta de control	1.44	4
12/1/2020	20:00	Internos	Fuga	0.98	4
12/2/2020	03:00	Internos	Falta de control	1.53	4
12/2/2020	16:00	Internos	Falta de control	1.43	1
12/2/2020	23:00	Internos	Falta de control	0.96	4
12/3/2020	03:00	Internos	Falta de control	1.45	1
12/3/2020	04:00	Internos	Falta de control	1.45	1
12/3/2020	09:00	Internos	Falta de control	1.47	4
12/3/2020	10:00	Internos	Falta de control	1.45	4
12/3/2020	19:00	Internos	Falta de control	1.48	3
12/3/2020	13:00	Internos	Fuga	0.90	3
12/3/2020	17:00	Internos	Falta de control	1.60	3
12/4/2020	01:00	Internos	Choque de precloración	1.46	4
12/4/2020	02:00	Internos	Choque de precloración	1.02	4
12/4/2020	03:00	Internos	Choque de precloración	1.45	4
12/4/2020	05:00	Internos	Choque de precloración	1.53	4
12/4/2020	09:00	Internos	Choque de precloración	1.60	3
12/4/2020	10:00	Internos	Falta de control	1.66	1
12/4/2020	17:00	Internos	Falta de control	1.42	4
12/5/2020	04:00	Internos	Falta de control	1.45	4
12/5/2020	05:00	Internos	Falta de control	1.75	4
12/5/2020	09:00	Internos	Falta de control	1.56	2
12/6/2020	24:00	Internos	Falta de control	0.80	2
12/6/2020	01:00	Internos	Falta de control	1.66	1
12/6/2020	05:00	Internos	Falta de control	0.84	1
12/6/2020	07:00	Internos	Choque de precloración	1.44	1
12/6/2020	08:00	Internos	Choque de precloración	1.42	1

## ANEXO C

### PLAN DE CONDICIONES BÁSICAS LÍNEA R2

#	Problema evidenciado	Acción	Responsable	validación(GEMBA)	Fecha de cierre	Estado
1	Resistencia intermitente	Reemplazo de resistencia para evitar congelamiento de la línea	Mantenimiento		ene-12	cerrado
2	Fugas en cambios automáticos de cilindros	Mantenimiento de válvula de 3 vías	Mantenimiento		ene-12	cerrado
3	Fugas constantes en válvulas angulares	Revisión de válvulas angulares	Mantenimiento		ene-12	cerrado
4	Variaciones constantes en la presión de vacío	Cambio de caja de vacío	Mantenimiento		ene-12	cerrado
5	Señales intermitentes en el controlador	Verificación de la señal del equipo a controlador	Mantenimiento		ene-12	cerrado

#	Problema evidenciado	Accion	Responsa ble	validacion(GEMBA)	Fecha de cierre	Estado
6	sellos defectuosos de cilindros	cambio de sellos	Operación		ene-12	cerrado
7	Fuga de aceite	verificacion de la bomba	Mantenimiento		ene-12	cerrado
8	Dosificacion de kg con variaciones constantes	Mantenimeinto al rotámetro	Mantenimiento		ene-12	cerrado
9	Herramientas para cambio de cilindros deteriorada	Compra de herramientas	Jefatura produccion		ene-12	cerrado

## ANEXO D

### MATRIZ DE DESARROLLO POS

POS TAG	Tarea	Frecuencia	Duración	Objetivo de la tarea	Información importante	Descripción de la tarea
CL1	Recepción de tambores en contenedor-Cloración	Ad hoc	2 horas	Descargar tambores que llegan dentro de contenedores	Tarea de alto riesgo! Se deben tener las competencias necesarias y seguir los procedimientos de los estándares	1. Ubicar el camión en el área señalizada para la descarga. 2. Observar el desplazamiento de los tambores, realizado por el proveedor, hacia el montador de cloración a una distancia segura, debe verificar visualmente que el capotaje se encuentre correctamente instalado, verificar la presencia de los señalamientos de advertencia y seguir los procedimientos de los estándares.
CL2	Recepción de tambores en plataforma-Cloración	Ad hoc	90 minutos	Descargar tambores que llegan en plataformas.	Tarea de alto riesgo! Se deben tener las competencias necesarias y seguir los procedimientos de los estándares	1. Ubicar el camión/plataforma en el área señalizada para la descarga. 2. Observar el desplazamiento de los tambores, realizado por el proveedor, hacia el extremo del sector B. 3. Encender el bolizo para cambio de tambores.
CL3	Montaje de tambores en batería de precloración-Cloración	Semanal	1 hora	Conectar tambores llenos en las baterías de precloración para	Tarea de alto riesgo! Se deben tener las competencias	1. Encender el bolizo para cambio de tambores. 2. Verificar que los volúmenes se encuentren perpendicular al piso, encender la búsqueda, sujeta.
CL4	Montaje de tambores en batería de postcloración-Cloración	Semanal	1 hora	Montar tambores llenos en las baterías de postcloración para	Tarea de alto riesgo! Se deben tener las competencias	1. Encender el bolizo para cambio de tambores. 2. Verificar que los volúmenes se encuentren perpendicular al piso, encender la búsqueda, sujeta.
CL5	Cambio de kg/h en máquina de intercloración de forma local.	Ad hoc	60 minutos	Mantener la dosis de cloro en 2 ppm en el agua de contacto	Tarea de alto riesgo! Se deben tener las competencias	1. Acudir al soldo de cloración e identificar la máquina de intercloración en la que se realiza la operación. 2. Decidir la nueva cantidad de kg/h según el dato residual en el reservorio y las condiciones de operación. (link 3)
CL6	Cambio de kg/h en máquina de precloración de forma local.	Ad hoc	60 minutos	Cambiar las kg/h de una máquina de postcloración para cumplir con	Tarea de alto riesgo! Se deben tener las competencias	1. Seleccionar en la pantalla del HMI ubicado en soldo de control de caso químico, la posición de la máquina de postcloración donde se desea cambiar los kg/h (Foto 1). 2. Acudir al soldo de cloración e identificar la máquina de postcloración en la que se realiza la operación. (Foto 2)
CL7	Cambio de kg/h en máquina de precloración de forma remota	Ad hoc	60 minutos	Cambiar las kg/h de una máquina de postcloración para cumplir con	Tarea de alto riesgo! Se deben tener las competencias	1. Seleccionar en la pantalla del HMI ubicado en soldo de control de caso químico, la posición de la máquina de postcloración donde se desea cambiar los kg/h (Foto 1). 2. Acudir al soldo de cloración e identificar la máquina de postcloración en la que se realiza la operación. (Foto 2)
CL8	Cambio de kg/h en máquina de precloración de forma local.	Ad hoc	60 minutos	Cambiar las kg/h de una máquina de postcloración para cumplir con	Tarea de alto riesgo! Se deben tener las competencias	1. Seleccionar en la pantalla del HMI ubicado en soldo de control de caso químico, la posición de la máquina de postcloración donde se desea cambiar los kg/h (Foto 1). 2. Acudir al soldo de cloración e identificar la máquina de postcloración en la que se realiza la operación. (Foto 2)
CL9	Optificar postcloración con tambores de la búsqueda de precloración.	Ad hoc	45 minutos	Asegurar la clasificación en postcloración desde los tambores de la precloración.	Tarea de alto riesgo! Se deben tener las competencias necesarias y seguir los lineamientos del estándar de	1. Acudir a sala de operación. 2. Alimentar postcloración desde el área externa con las cajas de vacío del sistema principal. 3. Verificar que la batería de la presión esté abastecida a la V4. (Foto 1)
CL10	Desmontaje de tambores en batería de precloración-Cloración	Ad hoc	1 hora	Desmontar tambores vacíos de las balsas	Tarea de alto riesgo! Se deben tener las competencias	1. Encender el bolizo para cambio de tambores. 2. Verificar la presión en línea principal (manómetro marque menor a 30). 3. Encender el bolizo para cambio de tambores.
CL11	Desmontaje de tambores en batería de postcloración-Cloración	Ad hoc	1 hora	Desmontar tambores vacíos de las balsas	Tarea de alto riesgo! Se deben tener las competencias	1. Encender el bolizo para cambio de tambores. 2. Verificar cambio automático de batería (Foto 1). 3. Verificar que el camión se encuentre en el área señalizada para la carga.
CL12	Despacho de tambores por contenedor-Cloración	Ad hoc	60 minutos	Despachar tambores vacíos de cloro en un contenedor.	Tarea de alto riesgo! Se deben tener las competencias	1. Retirar el etiqueto de tambor vacío y poner la serie del tambor, repetir para cada tambor. 2. Ubicar el camión en el área señalizada para la carga. 3. Retirar el etiqueto de tambor vacío y poner la serie del tambor, repetir para cada tambor. (Foto 1)
CL13	Despacho de tambores por plataforma	Ad hoc	60 minutos	Despachar tambores vacíos de cloro en plataforma.	Tarea de alto riesgo! Se deben tener las competencias	1. Ubicar el camión en el área señalizada para la carga. 2. Retirar el etiqueto de tambor vacío y poner la serie del tambor, repetir para cada tambor. (Foto 1)
CL14	Registro de datos de tambores en operación y en stand by de	Cada hora	10 minutos	Registrar cada hora los datos de presiones, peso bruto y	Se deben tener las competencias	1. Identificar en el display la batería que está en operación del sector A. 2. Registrar el peso bruto que muestra el display.
CL15	Registro de datos de tambores en operación y de precloración de	Cada hora	10 minutos	Registrar cada hora los datos de presiones, peso bruto y	Se deben tener las competencias	1. Registrar el peso bruto que muestra el display. 2. Registrar el peso bruto que muestra el display.
CL16	Choque de precloración	Diario	1 hora y 30 min	Prevenir proliferación de vegetación en los clarificadores	Tarea de alto riesgo! Se deben tener las competencias	1. Comunicar al operador de caso químico hora de inicio de choque de precloración. 2. Encender el bolizo de advertencia.
CL17	Sacar fuera de servicio máquina de precloración A	Semestral	30 min	Sacar fuera de servicio máquina de precloración A, habilitar	Se deben tener las competencias	1. Encender bolizo de advertencia. 2. Abrir válvula de salida de solución clorada del sector B en la máquina auxiliar (V).
CL18	Sacar fuera de servicio máquina de postcloración sector B.	Semestral	30 min	Sacar fuera de servicio máquina de postcloración sector B y	Se deben tener las competencias	1. Encender bolizo de advertencia. 2. Abrir válvula de salida de solución clorada del sector B en la máquina de soporte.
CL19	Sacar fuera de servicio máquina de precloración B.	Semestral	30 min	Sacar fuera de servicio máquina de precloración B con sus	Se deben tener las competencias	1. Encender bolizo de advertencia. 2. Abrir válvula de salida de solución clorada del sector B de la máquina de precloración B.
CL20	Sacar fuera de servicio máquina de	Semestral	30 min	Sacar fuera de servicio máquina	Se deben tener las	1. Encender bolizo de advertencia.

# ANEXO E

## REGISTRO VALVULAS

No	Proceso	Nombre	Tag	Descripción	Dimension	Foto 1
1	Operación	Válvula 1	V1	Válvula de amortiguación de condensador	A1 de amovible V1	
2	Operación	Válvula 2	V2	Válvula de amortiguación y/o		
3	Operación	Válvula 3	V3	Válvula de amortiguación manual	"No (N) 2cm pt. 40"	
4	Operación	Válvula 4	V4	Válvula principal del manifold		
5	Operación	Válvula 5	V5	Válvula de bypass	"No (N) 2cm pt. 40"	
6	Operación	Sistema de vacío 1B	C1	Sistema de vacío 1B		
7	Operación	Sistema de vacío 2B	C2	Sistema de vacío 2B		
8	Operación	Acuidor 318	Acuidor 318	Acuidor		
9	Operación	(Sistema Tres Válvulas 1 - Sector B Superior)	STV2-B5	Sistema Tres Válvulas		
10	Operación	(Sistema Tres Válvulas 1 - Sector B Inferior)	STV2-BI	Sistema Tres Válvulas		
11	Operación	(Sistema Tres Válvulas 2 - Sector B Superior)	STV1-B5	Sistema Tres Válvulas		
12	Operación	(Sistema Tres Válvulas 2 - Sector B Inferior)	STV1-BI	Sistema Tres Válvulas		
13	Operación	(Sistema Tres Válvulas - Sector B Central)	STV-BC	Sistema Tres Válvulas		
14	Operación	Sistema de vacío 1A	C3	Sistema de vacío 1A		
15	Operación	Sistema de vacío 2A	C4	Sistema de vacío 2A		
16	Operación	Acuidor 31A	Acuidor 31A	Acuidor		
17	Operación	(Sistema Tres Válvulas 1 - Sector A Superior)	STV2-A5	Sistema Tres Válvulas		
18	Operación	(Sistema Tres Válvulas 1 - Sector A Inferior)	STV2-AI	Sistema Tres Válvulas		
19	Operación	(Sistema Tres Válvulas 2 - Sector A Superior)	STV1-A5	Sistema Tres Válvulas		
20	Operación	(Sistema Tres Válvulas 2 - Sector A Inferior)	STV1-AI	Sistema Tres Válvulas		

## ANEXO F

### MATRIZ DE POLIVALENCIA

#	Operator	Conocimiento del equipo						Operación				Promedio por operador
		Fuignent 0	Cilindros	Valvula de vacio	Sistema 3 vias	Valvula angular	Clorador a	Operación	Mantenimient 0	Analisis de falla	Precauciones del equipo	
1C1	0	U	f	0	U	k	U	k	a	f	2.3	
2C2	0	U	f	0	U	0	U	k	a	f	2.5	
3C3	U	U	U	U	U	U	U	k	f	f	3.2	
4C4	0	U	0	k	U	0	U	k	f	f	2.7	
Promedio por actividad		3.25	4	2.25	3	4	3	4	2	0.5	1	

# ANEXO G

## LECCIÓN DE UN PUNTO

	<b>LECCION DE UN PUNTO</b> CLORACION SEMANTAL CL-002	Fecha elaboración: 05/01/2021 Elaborado por: Laura Corrales	
<b>IZAJE DE TAMBORES</b>			
		<b>Inspeccionar tecele antes de su uso</b>	
		<b>Los grilletes con torceduras en la corona o pasador con más del 10% de su diámetro original no se deberán usar.</b>	
		<b>NUNCA desplazar o asentar violentamente la carga</b>	
		<b>NUNCA COLOCAR LA ESLINGA EN LA PUNTA DEL GANCHO</b>	
<b>INSPECCIONAR EL TRABAJO ANTES Y APLICAR LOS 5 PUNTOS DE SEGURIDAD SIEMPRE</b>			
<b>RECORD DE ENTRENAMIENTO</b>			
<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>	<b>ENTRENADOR</b>

## ANEXO H

### PLAN TALLERES DEL PERSONAL

TALLERES OPERADORES CLORACION								
CONOCIMIENTO DEL EQUIPO								
Tema	Taller 1 Flujometro	Taller 2 Cilindros	Taller 3 Válvula de vacío	Taller 4 Sistema de 3 vías	Taller 5 Válvula angular	Taller 6 Cloradora	Taller 7 Inquietudes	Evaluación
Objetivos	Entender qué son y cómo deben cuidarse	Entender qué son y cómo deben cuidarse	Entender qué son y cómo deben cuidarse	Entender qué son y cómo deben cuidarse	Entender qué son y cómo deben cuidarse	Conocer los criterios básicos y generales de diseño	Resolución de inquietudes	Determinar la efectividad de los talleres
Alcance	<p><b>JRíoferio</b></p> <p>¿Cómo funciona un flujómetro?</p> <p>¿Qué se debe tomar en cuenta para la selección de un medidor de caudal y por qué?</p> <p>¿Cuál es la función del flujómetro en un auto?</p>	<p><b>JRíoferio</b></p> <p>¿Qué es el gas de cloro?</p> <p>¿Cuánto pesa un cilindro de gas cloro?</p> <p>¿Qué es un cilindro con gas cloro?</p> <p>PDF</p> <p>¿Cuáles son los efectos del gas cloro?</p>	<p><b>JRíoferio</b></p> <p>- Propósitos y objetivos</p> <p>- Componentes</p> <p>¿Cuál es la función de la válvula de vacío?</p>	<p><b>VLópez</b></p> <p>Propósitos y objetivos</p> <p>- Componentes</p> <p>¿Cuál es la función?</p>	<p><b>VLópez</b></p> <p>Propósitos y objetivos</p> <p>- Componentes</p> <p>¿Cuál es la función?</p>	<p><b>VLópez</b></p> <p>Propósitos y objetivos</p> <p>- Componentes</p> <p>¿Cuál es la función?</p>	<p><b>Mvarez</b></p>	<p><b>VLópez</b></p> <p>Temas tratados en talleres</p>
OPERACION								
Tema	Taller 1 Operación	Taller 2 Mantenimiento	Taller 3 Análisis de falla	Taller 4 Precauciones del equipo	Taller 5 Inquietudes	Taller 6 Práctica	Taller 7 Inquietudes	Evaluación
Objetivos	Conocer los criterios básicos y generales de diseño	Conocer los criterios básicos y generales de diseño	Conocer los criterios básicos y generales de diseño	Conocer los criterios básicos y generales de diseño	Resolución de inquietudes	Conocer la importancia y componentes del proceso	Resolución de inquietudes	Determinar la efectividad de los talleres
Alcance	<p><b>JRíoferio</b></p> <p>Funcionamiento general</p>	<p><b>JRíoferio</b></p> <p>- Descripción general del proceso</p> <p>- Tipos de estaciones</p> <p>- Componentes</p> <p>- Diagnósticos</p> <p>- ¿Qué medir y controlar?</p> <p>- Regímenes de operación</p> <p>- Impacto de los gases en los equipos y estructuras</p>	<p><b>JRíoferio</b></p> <p>- Apoyos en la cabecera de la planta y de los procesos</p> <p>- Descripción general del proceso</p> <p>- Componentes</p> <p>- Diagnósticos</p> <p>- ¿Qué medir y controlar?</p> <p>- Regímenes de operación</p> <p>- Impacto de los gases en los equipos y estructuras</p> <p>- Eficiencia esperada</p>	<p><b>Mvarez</b></p> <p>- Importancia e impacto</p> <p>- Descripción general del proceso</p> <p>- Componentes</p> <p>- Diagnósticos</p> <p>- ¿Qué medir y controlar?</p> <p>- Regímenes de operación</p> <p>- Impacto de los gases en los equipos y estructuras</p> <p>- Eficiencia esperada</p>	<p><b>VLópez</b></p>	<p><b>VLópez</b></p>	<p><b>VLópez</b></p>	<p><b>VLópez</b></p> <p>Temas tratados en talleres</p>