



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

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

**“Implementación de la Metodología Seis Sigma para  
Reducir el Contenido de *Saccharomyces uvarum* en  
Cerveza Brillante.”**

**EXAMEN COMPLEXIVO**

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

**INGENIEROS DE ALIMENTOS**

**Presentado por:**

**Erick Fernando Cabrera Mendoza**

**Viviana Laura Cruz Man-Hing**

**GUAYAQUIL –ECUADOR**

**AÑO: 2014**

## AGRADECIMIENTO

A Dios

A mis padres por brindarme su  
apoyo incondicional

A mi directora del TFG M. Sc.  
Sofía López por guiarme en  
este proyecto

Erick Cabrera Mendoza

## AGRADECIMIENTO

A mis padres por el esfuerzo y apoyo incondicional, a mi Directora del TFG M. Sc. Sofía López por guiarme en este proyecto.

Viviana Cruz Man-Hing

## DEDICATORIA

A mis padres Guillermo y María  
Elena.

A mi esposa Virginia.

A mis hijos Elián y María  
Euarda

Erick Cabrera Mendoza

# DEDICATORIA

A DIOS

A MI FAMILIA

Viviana Cruz Man-Hing

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Ing. Jorge Duque R.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE

---

M.Sc. Sofía López I.  
DIRECTOR DEL TFG

---

M.Sc. María Fernanda Morales R.  
VOCAL PRINCIPAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente examen complejo nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

---

Erick Fernando Cabrera Mendoza

---

Viviana Laura Cruz Man-Hing

## RESUMEN

Este trabajo final de graduación se desarrolló en una cervecería local subsidiaria de la segunda cervecera a nivel mundial. Enfocados en el compromiso de entregar productos de calidad internacional, a nivel organizacional se maneja el indicador KPI de Higiene en el cual se considera la concentración de células de levadura *Saccharomyces uvarum* en cerveza filtrada debido a la influencia que tienen en la calidad físico-química y organoléptica de la cerveza.

Este indicador es fundamental para obtener un buen desempeño en el ranking mundial de las cervecerías que conforman el grupo, permitiendo que la Empresa sea competitiva y cumpla las exigencias de calidad. Previo al desarrollo del TFG no se había logrado mantener estable el valor de este indicador, y en el cierre anual de desempeños de calidad los resultados obtenidos se encontraban por debajo de la meta propuesta.

Con un objetivo definido, se aplicó la metodología Seis Sigma como una estrategia de calidad que permitió identificar y medir las variables que afectan al métrico principal Micro Levadura, empezando por calcio en mosto de cocina, el sistema de trasiego y maduración, proceso de filtración y almacenamiento de cerveza brillante, además de asegurar los procesos de

limpieza y sanitización (CIP), los cuales permitieron tener un mejor control en el proceso y mejorar la calidad de la cerveza brillante. Para el desarrollo de la metodología se eligió el uso de herramientas como SIPOC, Mapas de proceso, Diagramas de Causa y Efecto, Diagrama de Pareto y estudios de Capacidad de Proceso.

Al finalizar el TFG se pudo estandarizar el proceso de filtración para reducir la cantidad de levaduras en cerveza brillante y se mejoró el indicador desde el 44% hasta el 80% cuando finalizó el proyecto con una mejora sostenida en los meses posteriores, se promovió el uso de la metodología Seis Sigma como herramienta para la resolución de problemas y la optimización de los procesos.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	X
SIMBOLOGÍA.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo General.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3 Metodología.....	5
1.3.1 Definir.....	5
1.3.2 Medir.....	5
1.3.3 Analizar.....	6
1.3.4 Mejora.....	6

1.3.5 Control.....	7
1.4 Estructura de tesis.....	7
CAPÍTULO 2	
2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 Historia de la calidad.....	10
2.2 Definición de Seis Sigma.....	20
2.2.1 Background de Seis Sigma.....	22
2.2.2 Ventajas de Seis Sigma sobre la Gestión de Calidad Total.....	26
2.3 Entrenamiento e Implementación: Roles de Equipo.....	27
2.4 Métrica de Seis sigma.....	34
2.4.1 Variación y Distribución Normal.....	37
2.4.2 Defectos por millón de oportunidades.....	42
2.4.3 Capacidad de proceso.....	43
2.5 Fases de Seis Sigma DMAIC.....	44
2.5.1 Definir.....	45
2.5.1.1 Identificación de clientes internos y externos.....	45
2.5.1.2 Selección de los CTQ's del proceso.....	46
2.5.1.3 Selección del problema.....	47
2.5.1.4 Impacto en el negocio.....	48
2.5.1.5 Descripción del problema.....	48

2.5.1.6 Definición y alcance del proyecto.....	49
2.5.1.7 Ahorro.....	50
2.5.1.8 Selección del equipo de trabajo.....	51
2.5.1.9 Diagrama SIPOC.....	51
2.5.1.10 Entregables.....	54
2.5.2 Medir.....	54
2.5.2.1 Establecer y validar el plan de recolección de datos.....	55
2.5.2.2 Mapeo del proceso.....	60
2.5.2.3 Estadística básica para la fase de medición.....	65
2.5.2.3.1 Histogramas.....	65
2.5.2.3.2 Diagrama de Pareto.....	66
2.5.2.3.3 Diagrama de Ishikawa.....	68
2.5.2.4 Análisis de capacidad.....	69
2.5.2.5 Entregables.....	73
2.5.3 Analizar.....	74
2.5.3.1 Identificar las fuentes de variación.....	75
2.5.3.2 Herramientas básicas para la fase de análisis.....	75
2.5.3.2.1 Análisis Descriptivo.....	75
2.5.3.2.2 Análisis Gráfico.....	76
2.5.3.2.3 Estadística Descriptiva.....	77
2.5.3.2.4 Estadística Inferencial.....	79

2.5.3.3 Entregables.....	84
2.5.4 Implementar.....	85
2.5.4.1 Planes de Implementación.....	85
2.5.4.2 Diseño de Experimentos .....	86
2.5.4.3 Matriz de priorización.....	88
2.5.4.4 Entregables.....	90
2.5.5 Controlar.....	90
2.5.5.1 Determinar la capacidad del proceso mejorado.....	90
2.5.5.2 Implementar el sistema de control.....	91
2.5.5.3 Plan de control.....	91
2.5.5.4 Desarrollo de un plan de control del proceso.....	92
2.5.5.5 Tamaño, Frecuencia y Responsabilidad.....	92
2.5.5.6 Acción y Documentación.....	93
2.5.5.7 Carta de control.....	95
2.5.5.7.1 Cartas de control por variables y atributos.....	96
2.5.5.8 Dispositivos a prueba de error.....	97
2.5.5.9 Entregables.....	97

## CAPÍTULO 3

3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA.....	99
3.1 Definir.....	99

3.1.1 Situación Actual.....	99
3.1.2 Objetivo del proyecto.....	100
3.1.3 Alcance.....	102
3.1.4 Métricas del proyecto.....	105
3.2 Medir.....	105
3.2.1 Macro Mapa del Proceso y Diagrama de Flujo del Proceso.....	106
3.2.2 Mapa de Proceso Detallado.....	110
3.2.3 Diagrama de pareto.....	112
3.2.4 Plan de ejecución del proyecto.....	113
3.2.5 Capacidad de proceso actual.....	114
3.3 Analizar.....	117
3.3.1 Causas Potenciales de Variación.....	118
3.3.2 Diagrama de Ishikawa.....	122
3.3.3 Matriz causa y efecto.....	124
3.3.4 Determinación de causas raíces.....	127
3.4 Implementar.....	140
3.4.1 Establecimiento de Mejoras.....	159
3.4.2 Mejoramiento del Indicador.....	162
3.5 Controlar.....	163
3.5.1 Diseño e implementación del plan de control.....	163
3.5.2 Diseño e implementación del plan de reacción.....	171

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....174

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

## ABREVIATURAS

AMEF	Análisis de modo y efecto de falla
ANOVA	Análisis de la varianza
BBT	Bright beer tank (Tanque de cerveza brillante)
CTQ	Critical to quality (Crítico para la calidad)
CIP	Clean in place (Limpieza en sitio)
D	Número de defectos
DET	Detección
DFP	Diagrama de flujo de proceso
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar)
DPMO	Defectos por millón de oportunidades
DPO	Defectos por total de oportunidades
DPU	Defectos por unidad
KPI	Key performance indicators (Indicadores clave de desempeño)
KPIVs	Key process input variables (Variables clave de entrada del proceso)
KPOVs	Key process output variables (Variables clave de salida del proceso)
LSL	Lower specification limit (Límite inferior de especificación)
NPR	Número prioritario de riesgo
OCU	Ocurrencia
OP	Opportunities for failure (Oportunidades para fallar)
PDVA	Planear, Hacer, Verificar, Actuar
PEO	Procedimiento estándar de operación
ppm	Partes por millón
RTY	Rolled throughput yield (Rendimiento total acumulado)
SEV	Severidad
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Costumers (Proveedores, Entradas, Proceso, Salidas, Clientes)
SPC	Statistical process control (Control estadístico de proceso)
TQM	Total quality management (Gestión de calidad total)
U	Unidades
UBT	Unfiltered Beer Tank (Tanque de cerveza no filtrada)

UFC	Unidad formadora de colonia
USL	Upper specification limit (Límite superior de especificación)
VOC	Voice of customer (Voz del cliente)

## SIMBOLOGÍA

$\leq$	Menor o igual que
%	Porcentaje
$\mu$	Media de la población
$\bar{x}$	Media de la muestra
$\tilde{x}$	Mediana
$\Delta$	Nivel de precisión de la muestra
$\varepsilon$	Error aleatorio
$\alpha$	Nivel de significancia
$\sigma$	Desviación estándar de la población
$s$	Desviación estándar de la muestra
$\sigma^2$	Varianza de la población
$s^2$	Varianza de la muestra
$\beta_2$	Curtosis
$\beta_1$	Pendiente
$\beta_0$	Intercepción
$^{\circ}\text{C}$	Grado Celsius
$C_p$	Índice de capacidad del proceso
$C_{pk}$	Índice de capacidad del proceso centrado
$C_m$	Índice de capacidad de máquina
$C_{mk}$	Índice de capacidad real de máquina
$P_p$	Índice de rendimiento del proceso
$P_{pk}$	Índice de rendimiento del proceso
CPU	Índice de capacidad con límite superior
CPL	Índice de capacidad con límite inferior
PPU	Índice de rendimiento del proceso con límite superior
PPL	Índice de rendimiento del proceso con límite inferior
g	Gramos
hl	Hectolitros
h	Hora
k	Medida de asimetría
ml	Mililitros
N	Tamaño de la población
n	Tamaño de la muestra

$p$	Proporción de la población
$R^2$	Coefficiente de determinación
$R$	Rango
$Z_{st}$	Variación a corto plazo
$Z_{lt}$	Variación a largo plazo

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág
Figura 2.1 Historia de la Calidad - Línea de tiempo.....	10
Figura 2.2 Calidad Mediante Inspección.....	17
Figura 2.3 Control de Calidad en el Proceso .....	17
Figura 2.4 La Jerarquía Seis Sigma de Roles y Responsabilidades.....	28
Figura 2.5 La Métrica de Seis Sigma.....	35
Figura 2.6 Tasa de defectos (ppm) versus Nivel de Calidad Sigma.....	36
Figura 2.7 Distribución Normal.....	40
Figura 2.8 Tipos de distribución.....	40
Figura 2.9 Desviación Estándar.....	42
Figura 2.10 Fases del Proceso Seis Sigma .....	45
Figura 2.11 Diagrama SIPOC .....	52
Figura 2.12 Plantilla SIPOC .....	53
Figura 2.13 Subdivisión de Datos.....	58
Figura 2.14 Ejemplo de Macro Mapa de Proceso .....	61
Figura 2.15 Ejemplo de DFP .....	62
Figura 2.16 Distribución de Frecuencias e Histograma.....	66
Figura 2.17 Diagrama de Pareto .....	67
Figura 2.18 Diagrama Causa Efecto .....	68
Figura 2.19 Referencias sobre el uso de los índices de capacidad.....	73
Figura 2.20 Ejemplo de Matriz Tipo-L.....	89
Figura 2.21 Ejemplo de Plan de Calidad de Variables Críticas.....	94
Figura 3.1 Establecimiento del Objetivo.....	100
Figura 3.2 Diagrama SIPOC del Proyecto.....	104
Figura 3.3 Macro Mapa del Proceso.....	107
Figura 3.4 Diagrama de Flujo del Proceso.....	109
Figura 3.5 Diagrama de pareto de incumplimiento por marca al indicador Micro Levadura.....	113
Figura 3.6 Histograma del Sistema de Filtración.....	115
Figura 3.7 Histograma de células de levadura a la salida del filtro de cerveza.....	116
Figura 3.8 Contenido de levadura en aguas de enjuague después del CIP.....	119

Figura 3.9 Contenido de levadura en cerveza brillante en diferentes puntos de muestreo.....	120
Figura 3.10 UFC de levadura/100ml durante la filtración.....	122
Figura 3.11 Diagrama de Ishikawa del proyecto.....	123
Figura 3.12 AMEF del proyecto.....	126
Figura 3.13 Diagrama de Pareto de los KPIVs.....	127
Figura 3.14 Punto Muerto: Línea de cerveza madura.....	128
Figura 3.15 Punto Muerto: Carbonatación de cerveza.....	129
Figura 3.16 Punto Muerto: Matriz de cerveza madura.....	130
Figura 3.17 Células de Levadura versus Flujo de Filtración.....	133
Figura 3.18 Gráficas de variables de filtración.....	134
Figura 3.19 Células de levadura a la salida del filtro en proceso de finalización del ciclo.....	135
Figura 3.20 Evaluación del mix actual de polvos filtrantes.....	137
Figura 3.21 Diagrama de Calidad de Cerveza Madura.....	138
Figura 3.22 Línea de Cerveza Madura.....	142
Figura 3.23 Sistema de Carbonatación.....	143
Figura 3.24 Matriz de Cerveza Madura.....	143
Figura 3.25 Dependencias de flujos de filtración.....	146
Figura 3.26 Gráficas de variables de filtración con reducción gradual del flujo.....	148
Figura 3.27 Prueba descenso gradual del flujo de filtración.....	148
Figura 3.28 Evaluación de mix de polvos filtrantes.....	150
Figura 3.29 Dependencias de Mix de Polvos Filtrantes.....	150
Figura 3.30 Diagrama de Dispersión y Recta de Regresión Trub versus Hidrogel.....	153
Figura 3.31 Diagrama de Dispersión y Recta de Regresión de Células de levadura versus Hidrogel.....	155
Figura 3.32 Diagrama de Dispersión y Recta de Regresión Trub versus Temperatura.....	156
Figura 3.33 Diagrama de Dispersión y Recta de Regresión Células de levadura versus Temperatura.....	157
Figura 3.34 Capacidad de Máquina mejorada.....	161
Figura 3.35 Gráfico de barras del cumplimiento del indicador de micro levaduras.....	163
Figura 3.36 Control de operación de filtración.....	170
Figura 4.1 Determinación del objetivo.....	175
Figura 4.2 Miembros del Equipo.....	175
Figura 4.3 Macro Mapa del proceso.....	176
Figura 4.4 Diagrama de Pareto de incumplimiento por marca al indicador Micro Levadura.....	177
Figura 4.5 Mejora Sostenida del Indicador de Micro Levaduras.....	180

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Avances en la aplicación de la estadística para el mejoramiento de la calidad.....	20
Tabla 2. Administración total de la calidad versus Seis Sigma.....	27
Tabla 3. Conversión entre ppm y Nivel de Calidad Sigma.....	37
Tabla 4. Formato para Cálculo de DPMO .....	43
Tabla 5. Plantilla de Plan de Recolección de Datos.....	56
Tabla 6. Ejemplo de Mapa de Proceso de Detallado.....	64
Tabla 7. Pautas de Determinación de Rectángulos para Construcción de Histogramas.....	66
Tabla 8. Estadística Descriptiva.....	78
Tabla 9. Tipos de Experimentos.....	87
Tabla 10. Comparación de las Cartas de Control por Variables Vs Atributos.....	96
Tabla 11. Determinación del Objetivo.....	102
Tabla 12. Miembros del Equipo.....	106
Tabla 13. Mapa de Proceso Detallado.....	111
Tabla 14. Porcentaje de frecuencia de incumplimiento por marca al indicador Micro Levadura para diagrama de pareto.....	112
Tabla 15. Categorización del Valor de $C_p$ .....	116
Tabla 16. Microbiología de aguas de enjuague.....	118
Tabla 17. Microbiología de cerveza brillante después del CIP de filtro y periferias.....	120
Tabla 18. Matriz Causa y Efecto.....	125
Tabla 19. Etapas de CIP a Tanques Intermedios.....	131
Tabla 20. Resultados microbiológicos de CIP a Tanques Intermedios....	132
Tabla 21. Mix actual de polvos filtrantes.....	136
Tabla 22. Proceso de maduración con 90 g/hl de hidrogel.....	139
Tabla 23. Resumen de las x's y las soluciones.....	141
Tabla 24. CIP completo a Intermedios con DIVOSAN OSA-N.....	144
Tabla 25. Microbiología con nuevo CIP a tanques Intermedios.....	145
Tabla 26. Comparativo CIP con Acid Brite y DIVOSAN OSA-N.....	146
Tabla 27. Comparación de Mix de Polvos.....	149
Tabla 28. Pruebas en Maduración.....	152

Tabla 29. Precipitación de Trub según cantidad de hidrogel.....	154
Tabla 30. Células de levadura en cerveza madura según temperatura de maduración.....	158
Tabla 31. Establecimiento de mejoras.....	160
Tabla 32. Valor de índice $C_m$ (o $C_{mk}$ ).....	162
Tabla 33. Control de CIP en BBT.....	166
Tabla 34. Control De CIP de Tanques Intermedios y Periferias.....	168

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo final de graduación se requiere desarrollar la “Implementación de la Metodología Seis Sigma para Reducir el Contenido de *Saccharomyces uvarum* en Cerveza Brillante” en una Planta que elabora Bebidas Alcohólicas a Base de Malta, enfocándose en la necesidad de utilizar herramientas de gestión de calidad y control estadístico para definir la situación actual, analizar la información, incorporar mejoras y finalmente controlar los procesos existentes.

Siguiendo el esquema del proceso DMAIC para el desarrollo del proyecto, se definirá el alcance con la herramienta SIPOC, se empleará Diagramas de Causa y Efecto, Índices de Capacidad de Proceso, Análisis de Gráficos Estadísticos y de Correlación, Diseño de Experimentos y finalmente el Diseño e Implementación del Plan de Control.

Con la implementación de la metodología Seis Sigma, la empresa busca la reducción de la variabilidad de sus procesos productivos y la mejora continua con respecto a las especificaciones y requerimientos del cliente.

# **CAPÍTULO 1**

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 Antecedentes**

La Empresa fundada en 1887 se dedica a la fabricación y comercialización de cervezas y bebidas refrescantes, es la primera productora y comercializadora de sus productos y es considerada parte esencial de la industria nacional aportando al crecimiento sostenido a través de programas de Inversión Social Empresarial, promoviendo el consumo moderado de alcohol y el cuidado del ambiente, generando oportunidades de crecimiento integral en el Ecuador (9).

En la Empresa donde se desarrolla el caso de estudio se presenta la necesidad de mejorar uno de los indicadores de calidad de la

cerveza producida al cual se denomina MICRO LEVADURA, éste mide el porcentaje de cumplimiento de acuerdo a la cantidad de levadura presente en la cerveza de los BBT analizados. El USL es de 3 UFC/100 ml de muestra analizada aplicando la técnica de siembra de la filtración por membrana.

$$\text{MICRO LEVADURAS} = \left( \frac{\text{Número de muestras analizadas con resultado} \leq \text{USL}}{\text{Número total de muestras analizadas}} \right) \times 100$$

El control de esta variable es importante por su relación directa con la estabilidad de espuma, estabilidad biológica y sensorial del producto limitando el tiempo de vida útil, características que pueden ser percibidas por el consumidor afectando al productor al no satisfacer los requerimientos del cliente.

Este indicador es considerado como fundamental para obtener un buen desempeño en el ranking mundial de plantas, permitiendo que la Empresa objeto de estudio cumpla las exigencias de calidad y sea competitiva. Históricamente, el cumplimiento de este indicador no ha sido satisfactorio, alcanzando al finalizar el año 2010 un valor del 28%.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo General

Desarrollar la metodología Seis Sigma en una empresa local que se encarga de la manufactura de bebidas a base de malta, con la finalidad de lograr un modelo de mejora continua que permita reducir la variabilidad de los parámetros de calidad del proceso.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

1. Mejorar el desempeño del índice de higiene en BBT, donde se mide la cantidad de levadura presente en los tanques analizados. A este indicador se lo llamará **Micro Levadura**
2. Emplear la herramienta Seis Sigma como estrategia para alcanzar la meta del indicador propuesto, desde un 28% obtenido en al finalizar el 2010 hasta el 55% fijado por la cervecería para el año 2011.
3. Promover y mantener el empleo de la metodología Seis Sigma como herramienta para la resolución de problemas y

la optimización de los procesos, incentivando el alcance de altos estándares de desempeño.

### **1.3 Metodología**

En base al proceso DMAIC se establece la siguiente metodología (3)(8):

#### **1.3.1 Definir**

La fase de definición permitirá realizar la selección del proyecto, preparar y seleccionar a los miembros del equipo, definir la meta, el objetivo y el indicador, determinar el alcance del proyecto, estimar los beneficios financieros. Entre las herramientas se puede aplicar un Benchmarking y el diagrama SIPOC.

#### **1.3.2 Medir**

La etapa de Medición establece técnicas para recolectar datos sobre el desempeño actual y que tan bien se cumplen las expectativas del cliente. Consiste en la caracterización del

proceso, identificación de los KPIVs y KPOVs, uso de herramientas como Mapa de proceso, Diagrama de Pareto, AMEF, Matriz causa y efecto, desarrollo del plan de recolección de datos, estimación de  $C_p$  y  $C_{pk}$ .

Al terminar esta etapa, el equipo de trabajo tendrá un plan de recopilación de información, un sistema válido de medición que asegure exactitud y consistencia en la recolección de datos, frecuencia de los defectos y datos suficientes para el análisis del problema (10).

### **1.3.3 Analizar**

En esta etapa las entradas y salidas clave del proceso tienen que ser monitoreadas para identificar la causa raíz del problema aplicando análisis estadístico.

### **1.3.4 Mejorar**

Se refiere como la fase de prueba proactiva ya que los niveles de factores de entrada cambian para observar el efecto sobre una variable de salida. Esta etapa busca implementar los

cambios y determinar las mejoras del proceso al eliminar defectos y establecer niveles adecuados de operación. Las herramientas de Diseño de experimentos residen en esta fase.

### **1.3.5 Control**

Esta fase aborda la implementación de un plan de control, diseñar y documentar los mecanismos de control necesarios para asegurar que los resultados obtenidos se mantenga una vez que se hayan implementado los cambios. Las herramientas que pueden aplicarse incluyen documentación del PEO, Poka-Yoke, despliegue visual y gráficas de control.

## **1.4 Estructura de la Tesis**

### **Capítulo 1**

El capítulo 1 se llama “GENERALIDADES”, se presenta el planteamiento del problema, el objetivo general y específico, la metodología empleada y se describe la estructura de la tesis.

## **Capítulo 2**

El capítulo 2 se llama “MARCO TEÓRICO”, en el mismo se incluye el fundamento teórico consultado para el desarrollo de la tesis.

## **Capítulo 3**

El capítulo 3 se llama “APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA”, en el mismo se explica paso a paso como se aplicó la técnica Seis Sigma en el desarrollo de la tesis.

## **Capítulo 4**

El capítulo 4 se llama “CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”, en el mismo se detallan las conclusiones y recomendaciones finales en base a los resultados obtenidos.

# **CAPITULO 2**

## **2. MARCO TEÓRICO**

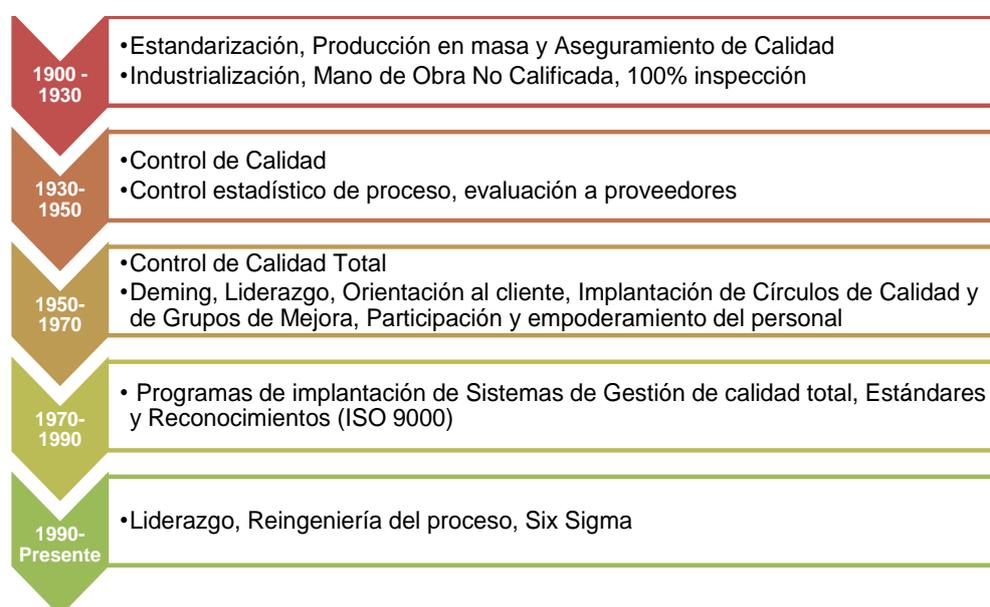
### **2.1 HISTORIA DE LA CALIDAD**

Cuando la industria estaba dominada por la producción sin considerar mayormente la calidad, asegurar que los productos cumplieran con la especificación era la responsabilidad de un departamento independiente de la función de producción, como resultado los niveles de deterioro eran altos lo que significaba que la productividad era baja (7).

Debido al grado de competitividad las organizaciones se concentran en la medida en la que se cumplen las exigencias del cliente, necesitan crear productos innovadores en menos tiempo, mejorar la calidad y satisfacción del cliente, disminuir los costos y aumentar los volúmenes de producción con menos recursos. El enfoque Seis

Sigma puede dar respuesta a estas necesidades si se realiza cuidadosamente (3).

La Figura 2.1 muestra las nuevas ideas de calidad que llegaron en varios puntos de la historia (11).



**Figura 2.1** Historia de la Calidad - Línea de tiempo (11)

Numerosas personas han tenido un impacto significativo en el movimiento Seis Sigma en el mundo pero en este capítulo se revisará la perspectiva de seis personas (1) y cómo Seis Sigma se refiere a la generación anterior de programas de calidad.

**W. Edwards Deming.-** Es considerado como la mayor influencia en la administración de la calidad. Deming recibió un doctorado en física y tuvo una formación importante en estadística lo cual influyó directamente en su filosofía (1).

Se lo conoce por revitalizar la industria japonesa poco después de la Segunda Guerra Mundial. En 1950, es invitado a Japón para ayudar a realizar un censo, en un discurso indica a los líderes japoneses que pueden “dominar el mundo” si son seguidores de sus enseñanzas. Deming hablaba sobre la importancia del liderazgo de la alta dirección, las asociaciones entre clientes y proveedores y la mejora continua en los procesos de manufactura y desarrollo de productos, ideas que fueron adoptadas por los directivos japoneses. Actualmente el reconocimiento más prestigioso en calidad en Japón es llamado “Deming Prize”. Las ideas de Deming se recogen en sus trabajos “14 principios” y las “Siete Enfermedades Mortales” (1).

Su filosofía de calidad fue: “La productividad mejora a medida que la variabilidad disminuye” (1).

**William E. Conway.-** Fundador, presidente y director ejecutivo de Conway Management Company. En 1980, después de ver la transmisión de "Si Japón puede, ¿Por qué no podemos?" de la cadena de televisión NBC, invitó al Dr. W. Edwards Deming a Nashua Corporation convirtiéndose en uno de los primeros ejecutivos Americanos que tuvo un acercamiento con Deming para solicitar su ayuda. Debido a su estrecha y temprana relación, Conway es a veces descrito como un "discípulo Deming", pero desarrolló su propia filosofía y enfoque de calidad (1).

Conway ha creado un sistema de gestión llamado "La manera correcta de Administrar" que permite a las organizaciones alcanzar mejoras duraderas en los balances económicos. Analiza el impacto de la variación en la calidad, y presenta su enfoque para el uso de siete herramientas sencillas (incluyendo gráficos de control) para eliminar los residuos. La actividad principal del sistema de Conway es la eliminación de los residuos en todos los procesos, si bien la mayoría de los ejecutivos conocen el desperdicio asociado a las operaciones de fabricación, éste realmente existe en todas las funciones de una organización. Conway señala que se necesita más que sólo un ojo crítico para detectar el desperdicio oculto, cree en la

necesidad de formación y la educación, así como herramientas adecuadas y técnicas (1).

**Joseph M. Juran.-** Nació en Rumania en 1904 y llegó a Estados Unidos en 1912. Colaboró con la Western Electric en la década de 1920, en la época en que fue pionera del desarrollo de los métodos estadísticos para la calidad (12). En 1928, Juran se convierte en el autor de su primer trabajo de calidad, un folleto que se convirtió en la base del *AT&T Statistical Quality Control Handbook* (1).

En 1937, conceptualiza el principio del Pareto. Al igual que Deming, Juran enseñó los principios de calidad a los japoneses en la década de 1950 y fue una fuerza importante en su reorganización para la calidad, sin embargo, Juran no propuso un cambio cultural importante en la organización, sino que buscaba mejorar la calidad trabajando dentro del sistema con el que los directivos estaban familiarizados (12).

Afirmaba que para captar la atención de los directores, los problemas de la calidad se deben expresar en el idioma que ellos entienden: dinero. De ahí que Juran se inclinara por el uso de la contabilidad de

costos de calidad y el análisis para centrar la atención en los problemas de calidad. En el nivel operativo se enfocó en aumentar la conformidad con las especificaciones, eliminando así los defectos, apoyado en gran medida por las herramientas de estadística para el análisis. Por tanto, su filosofía se adapta muy bien a los sistemas administrativos existentes (12).

Juran ha sido llamado el padre de la calidad, un gurú de la calidad, y el hombre que "enseñó calidad a los japoneses." Se le reconoce como la persona que añadió la "dimensión humana" a la calidad, la expansión más allá de sus orígenes estadísticos, lo que hoy llamamos gestión de la calidad total (1).

**Philip B. Crosby.-** Nació en Wheeling, West Virginia en el año 1926. En sus inicios trabajó como profesional de calidad en la línea de montaje de Crosley después de servir en la Segunda Guerra Mundial. Él se encargó de tratar de convencer a la dirección de que era más rentable prevenir los problemas que solucionarlos (1).

Nos enseña el uso herramientas simples y de control estadístico de la calidad, pero en una forma genérica, sin sentido matemático (1).

A diferencia de Juran y Deming, el enfoque de Crosby es sobre todo conductual. Recalcó el uso de procesos administrativos y organizacionales en lugar de técnicas estadísticas para cambiar la cultura corporativa y las actitudes. Sin embargo, al igual que Juran y a diferencia de Deming, su enfoque se adapta a las estructuras existentes en una organización (12).

**Dr. Genichi Taguchi.-** El sistema de ingeniería de calidad de Taguchi es considerado uno de los mayores logros de ingeniería en el siglo veinte. Su filosofía comienza a inicios de 1950 cuando es reclutado para ayudar a corregir el daño en el sistema telefónico de Japón. Después de señalar las deficiencias inherentes en los ensayos de prueba-y-error, desarrolló su propia metodología integrada para el diseño de experimentos (1).

La aplicación sistemática y generalizada de la filosofía del Dr. Taguchi y la comprensión de su conjunto de herramientas de diseño de experimentos para toma de decisiones, ha contribuido de manera significativa a la destreza de Japón en la producción rápida de los productos “lowcost” de clase mundial (1).

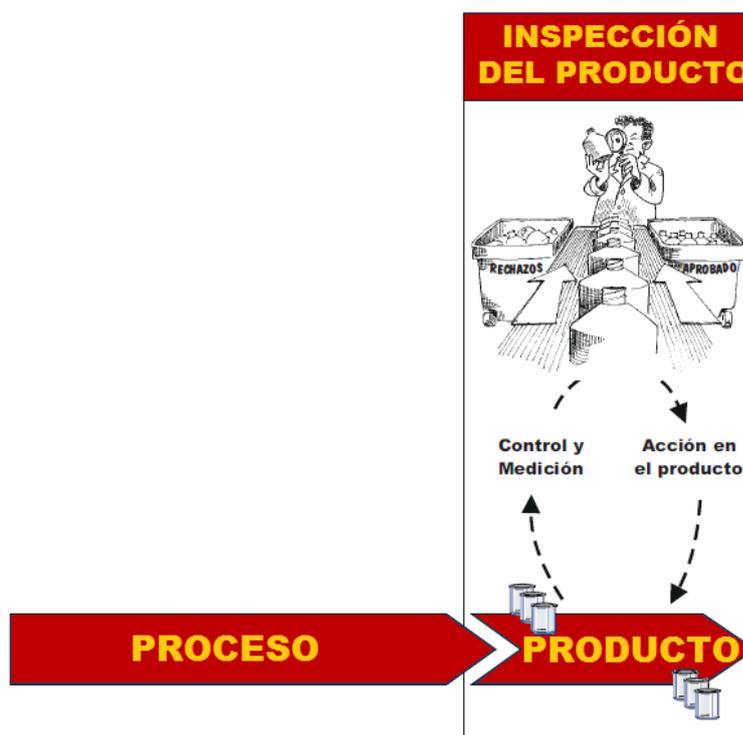
El enfoque de Taguchi supone que cuando menor sea la variación con la especificación, mejor será la calidad. A su vez, los productos son más consistentes y los costos totales son menores (12).

**Shigeo Shingo.-** Nació en Saga City, Japón en el año 1909.

Su mayor contribución en el área de calidad fue en los años sesenta con el desarrollo de *poka-yoke*. El término proviene de las palabras japonesas “poka” (error involuntario) y “yoke” (prevenir). La idea esencial del poka-yoke es diseñar procesos que hagan que sea imposible cometer errores o por lo menos que sean detectados y corregidos. Aunque Shigeo Shingo es quizás menos conocido en Occidente, su impacto en la industria japonesa ha sido de gran importancia (1).

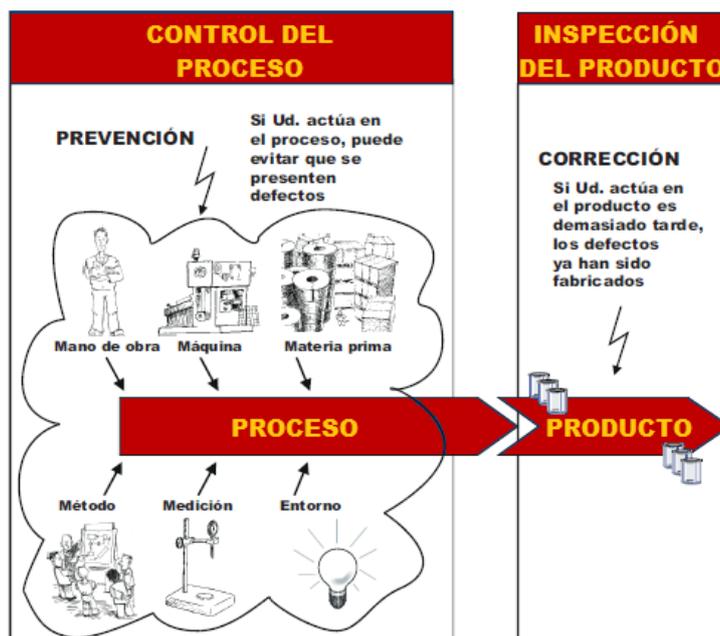
En términos cronológicos, la adopción de técnicas estadísticas en las industrias del sector manufacturero ha progresado en tres grandes etapas. En la Figura 2.2 se describe la primera etapa, la inspección del producto donde los planes de muestreo estadístico ayudan a determinar el tamaño de la muestra y se utilizan las reglas de decisión, sin embargo no es una herramienta para mejorar la calidad

ya que lo que hace es tratar de detectar productos no conformes durante la inspección (2). El 100% de inspección no es posible, lo que significa que productos de baja calidad siempre encontrarán un modo de llegar hasta los clientes.



**Figura 2.2** Calidad Mediante Inspección (7)

En la siguiente etapa la atención se vuelve "upstream" (Figura 2.3), es decir para el proceso que genera el producto, lo que lleva a los estudios de capacidad del proceso y aplicaciones de la gráfica de control de procesos (2).



**Figura 2.3** Control de Calidad en el Proceso (7)

La eficacia del Control Estadístico de Proceso (SPC) reside en su capacidad para prevenir la generación de productos defectuosos, sin embargo, como en el muestreo de aceptación esto es básicamente un enfoque negativo y pasivo, ya que no se hace ningún intento de cambiar el proceso para mejorar (2).

Para eliminar radicalmente la posibilidad de los productos defectuosos o para obtener el mejor rendimiento de un proceso, se debe llegar al extremo de entrada del proceso, manipular y ajustar las variables de entrada de manera que las variables de salida sean

optimizadas. La metodología de Fisher para obtener la relación de variables de entrada-salida es conocida como diseño de experimentos, donde se descarta el concepto de “una variable a la vez” y permite al investigador utilizar un pequeño número de datos experimentales para descubrir el efecto de cada variable de entrada en la salida, aislar las interacciones que puedan existir, y explícitamente evaluar los efectos del ruido en el fenómeno físico en estudio (2).

El potencial del diseño de experimentos se mantuvo prácticamente sin explotar por la industria hasta terminar la Segunda Guerra Mundial, los estadísticos aplicados representado sobre todo por George E.P. Box, William G. Hunter y J. Stuart Hunter comenzaron a educar a los ingenieros en diseño estadístico de experimentos, además de SPC, para fines de mejora de la calidad llevando a cabo la tercera etapa de avance en la aplicación industrial de la estadística.

El objetivo ahora es adelantarse a la aparición de productos defectuosos, no sólo detectarlos o evitarlos, dándole un enfoque activo en lugar de pasivo a la gestión de procesos (2).

En la Tabla 1 se resume las tres grandes etapas que caracterizan los avances de las aplicaciones estadísticas en la industria.

**Tabla 1. Avances en la aplicación de la estadística para el mejoramiento de la calidad (2)**

<b>Etapa</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
<b>Filosofía</b>	Calidad por inspección	Calidad por monitoreo	Calidad por diseño
<b>Estrategia</b>	Pasiva	Defensiva	Preventiva
<b>Enfoque</b>	Detectar defectos	Prevenir defectos	Eliminar Defectos
<b>Objetivo</b>	Controlar el daño	Status quo (estado actual)	Optimización
<b>Técnica</b>	Inspección por muestreo	Control de proceso	Diseño robusto
<b>Herramientas</b>	Planes de muestreo	Índices y tablas	Diseño de experimentos
<b>Aplicación</b>	Producto	Proceso	Producto y proceso
<b>Modo</b>	Por lote	Por línea	Por proyecto
<b>Período</b>	1940s	1960s	1980s

## 2.2 DEFINICIÓN DE SEIS SIGMA

El término sigma ( $\sigma$ ) se refiere a la letra del alfabeto griego que denota la desviación estándar de un proceso. El nivel de calidad Sigma ofrece un indicador de la frecuencia de que ocurra un defecto,

un alto nivel de calidad sigma indica que un proceso genera menor cantidad de defectos, equivalente a 3.4 DPMO (3).

Seis Sigma ataca directamente el costo de la mala calidad, tradicionalmente categoriza los costos de fallos internos, costos de fallos externos, costos de evaluación y los costos de prevención. Dentro de Seis Sigma, el costo de la mala calidad se dirige a la costa de no realizar el trabajo correctamente la primera vez, o que no cumplan con las expectativas del cliente (3).

Su filosofía es obtener alta calidad al menor costo, con alto nivel de responsabilidad, aplicando de forma general tres distintas definiciones (11):

- Una Medida: Una estadística de cuan alejado está un proceso de la perfección.
- Un Objetivo: 3.4 defectos por millos de oportunidades.
- Una Filosofía: una estrategia comercial a largo plazo centrado en la reducción de los costos a través de la reducción de la variabilidad en productos y procesos.

Seis Sigma se refiere a mejorar la rentabilidad, mejorar la calidad y la eficacia. Se enfoca en la reducción de las pérdidas económicas con resultados medibles y documentados (2).

### **2.2.1 BACKGROUND DE SEIS SIGMA**

Seis Sigma tiene sus inicios en Motorola. Mikel Harry, hábil ingeniero, conocedor de la estadística, se propuso estudiar las variaciones de los diversos procesos dentro de Motorola. Actuó aplicando herramientas para reducir y controlar la variación en los procesos de más bajo rendimiento mejorando la efectividad y eficiencia. Cooperó con el ingeniero y científico Bill Smith, cuya pasión por la filosofía considerado el padre de Seis Sigma, pues trabajó la estadística original y las fórmulas que dieron inicio a la cultura Seis Sigma. La pasión de Smith por esta filosofía la adquirió de Bob Galvin, Director Ejecutivo (CEO), que exigió hacer de Seis Sigma el componente número uno en la cultura de Motorola (3).

Posteriormente Jack Jermaine fue nombrado Director de Calidad y fue el encargado de la implementación de Seis

Sigma en toda la corporación. Es así, que se dirige a la Universidad de Motorola para difundir la palabra de Seis Sigma en toda la empresa y en todo el mundo. El resultado fue una cultura de calidad que dio lugar a un período de crecimiento sin precedentes (3).

El éxito de Motorola motivó a otras compañías, tales como Texas Instruments, a comenzar una búsqueda similar. Sin embargo, no fue sino hasta finales de 1993 que Seis Sigma realmente comenzó a transformar el negocio. Ese es el año en que Harry se trasladó a AlliedSignal y su director ejecutivo, Larry Bossidy, decidió adoptar Seis Sigma. Al seleccionar los proyectos Seis Sigma adecuados y rápidamente proporcionar el apoyo adecuado para ellos, Bossidy sugiere que los ejecutivos de alto nivel también deben entender las herramientas de Seis Sigma. En AlliedSignal, todo un sistema de liderazgo y sistemas de apoyo comenzaron a formarse en torno a las herramientas de resolución de problemas estadísticos de Seis Sigma (13).

Poco tiempo después Jack Welch entonces presidente y director ejecutivo de General Electric, influenciado por Bossidy

comenzó a interesarse en Seis Sigma. En Junio de 1995 Welch le pidió a Bossidy que fuera a compartir su filosofía gerencial en su centro de entrenamiento de ejecutivos. Después de la reunión, General Electric llevó a cabo un análisis de costo-beneficio sobre la aplicación de Seis Sigma, mostrando que al elevar su calidad a Seis Sigma la oportunidad de ahorrar en costos estaba entre 7 y 10 billones de dólares (13).

En Enero de 1996, Welch anuncia el lanzamiento de Seis Sigma en General Electric, refiriéndose como el proyecto más ambicioso de la compañía. Declaró: “La Calidad puede transformar a General Electric de una de las grandes empresas, a la mayor empresa a nivel mundial”. Involucró a todos los directivos sin excepción, no debían haber espectadores. Lo que Motorola había conseguido realizar en diez años GE tenía que conseguirlo en cinco, no a través de atajo, sino aprovechando el camino que ya estaba hecho. Fue en este momento cuando Jack Welch se convirtió en promotor mundial de Seis Sigma (13).

En algunos aspectos de mejora de la calidad, TQM y Seis Sigma comparten la misma filosofía de cómo ayudar a las organizaciones a lograr la calidad total.

TQM puede ser definido como la administración de iniciativas y procedimientos enfocados a lograr la entrega de productos y servicios de calidad, su objetivo es lograr un proceso de mejora continua de la calidad a través de un mejor conocimiento y control de todo el sistema de forma que el producto recibido por los consumidores tenga cero defectos, además de mejorar todos los procesos internos de forma tal de producir bienes sin defectos a la primera, implicando la eliminación de desperdicios para reducir los costos (14).

TQM y Seis Sigma hacen énfasis en la importancia del apoyo de alta dirección y liderazgo. Ambos enfoques ponen de manifiesto que la mejora continua de la calidad es fundamental para el éxito del negocio a largo plazo, sin embargo Seis Sigma presenta ventajas que serán revisadas en 2.2.2.

### 2.2.2 Ventajas de Seis Sigma sobre TQM

Uno de los problemas de la iniciativa de Gestión de Calidad Total (TQM) era la preferencia que tenía sobre la calidad a expensas de los demás aspectos del negocio, esto llevó a pensar que lo que era bueno para el cliente no siempre es bueno para el proveedor (1).

TQM y Seis Sigma comparten la misma filosofía de cómo ayudar a las organizaciones en el mejoramiento de la calidad. Pero varias empresas han realizado un cambio total en su manera de gestionar las empresas, adoptando la metodología de Seis Sigma en función de tres características (1):

1. Seis Sigma está enfocado en el cliente.
2. Los proyectos Seis Sigma producen grandes retornos sobre la inversión.
3. Seis Sigma cambia el modo que opera la dirección, es mucho más que proyectos de mejora.

Las diferencias entre TQM y Seis Sigma se resumen en la Tabla 2.

**Tabla 2. Administración total de la calidad versus Seis Sigma (10)**

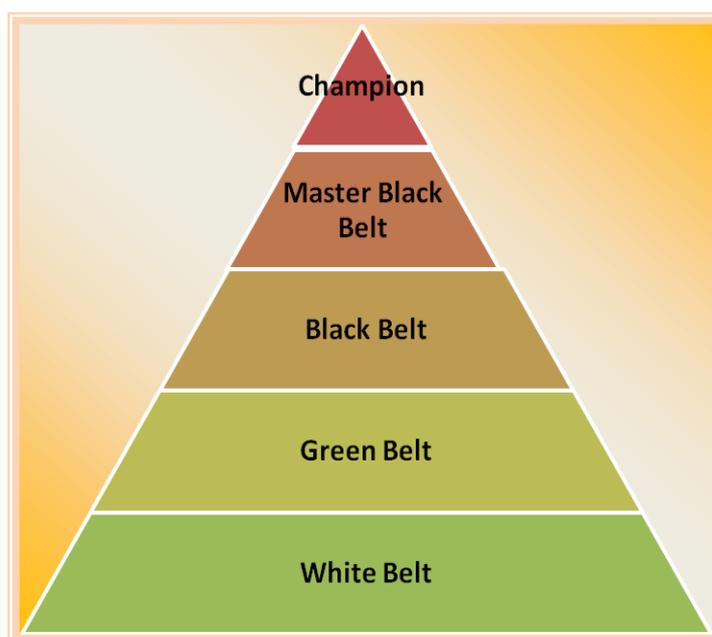
Administración total de la calidad	Seis Sigma
Un área especializada dentro de la organización.	Una infraestructura de agentes de cambio en lugar de una división de trabajo especializada.
Se enfoca en la calidad.	Se enfoca en objetivos estratégicos y los aplica para costear, planear y otros indicadores clave de la empresa.
El personal se emplea en deberes rutinarios (planeación, mejora y control)	Pocos recursos nuevos son creados para cambiar procesos clave del negocio y la organización misma.
Enfatiza la solución de problemas.	Enfatiza la tasa de avance de las mejoras.
Se enfoca en la implementación de estándares, por ejemplo ISO 9000.	Se enfoca en el desempeño de clase mundial, por ejemplo una tasa de error de 3.4 ppm.
Las metas son desarrolladas por el departamento de la calidad basado en que lo que es bueno para lograr la calidad es bueno para la organización.	Las metas fluyen desde el cliente y los objetivos estratégicos desde la gerencia.
Desarrollada por Ingenieros	Desarrollada por Directores Generales
Se enfoca en resultados a largo plazo, el resultado esperado no está bien definidos	Busca una mezcla de resultados a corto y largo plazo establecidos por las demandas del mercado.

### 2.3 ENTRENAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN: ROLES DEL EQUIPO

En una iniciativa Seis Sigma, los empleados de las empresas constituyen el grupo de interés más importante, pues ejecutan la

mayoría de los proyectos de mejora y deben participar de forma activa. Se asegura esta participación a través de cursos de formación, roles y responsabilidades dedicados, metodologías de mejora formalizadas y retroalimentación.

Para denotar los roles, Seis Sigma ha adoptado el sistema de clasificación según el criterio de las artes marciales (4) (Figura 2.4):



**Figura 2.4** La Jerarquía Seis Sigma de Roles y Responsabilidades.  
**Elaborado por:** Viviana Cruz - Erick Cabrera, 2014

La estructura humana de Seis Sigma se compone de (3)(5)(6):

**Patrocinadores o Champions (Campeones):**

Directivo que supervisa un proyecto Seis Sigma y es responsable frente al consejo directivo de su éxito. Debe comunicar la visión de Seis Sigma, orientar al equipo de mejora del pero debe evitar “tomar el mando” del equipo o imponerle una solución para que se implante.

Las responsabilidades del Champion incluyen:

1. Justificar la necesidad de los proyectos de mejora y fijar sus objetivos alineados con las prioridades del negocio.
2. Estar preparado para los cambios en la definición del proyecto y su alcance.
3. Aconsejar y aprobar los cambios en el equipo y alcance cuando sea necesario.
4. Conseguir recursos (tiempo, apoyo, dinero) para el equipo.
5. Defender el trabajo del equipo frente al consejo directivo.
6. Eliminar las barreras que se presenten en el desarrollo del trabajo del equipo.
7. Implementar el cambio
8. Aprender del equipo la importancia de una gestión basada en los datos y aplicar estas lecciones a su trabajo diario.

9. Determinar el criterio de selección de los proyectos con el comité ejecutivo. Identificar y priorizar los proyectos.

10. Realizar premiaciones y reconocimientos a los miembros del equipo.

### **Master Black Belt:**

Este es el más alto nivel de competencia técnica y de organización, proporcionan el liderazgo técnico del programa Seis Sigma por lo tanto deben conocer todo lo que el Black Belt conoce, así como habilidades adicionales como la profunda comprensión de la teoría matemática sobre la que los métodos estadísticos se basan, coaching para ayudar a los Black Belt o habilidad de enseñanza.

Debe proporcionar ayuda en los siguientes temas:

1. Funcionar como agentes de cambio.
2. Entrenar a los black belts/green .
3. Formular estrategias de selección de proyectos con el equipo de dirección.
4. Comunicar la visión de Seis Sigma y motivar a los demás a tener una visión común.

5. Estimar, medir y validar los beneficios, económicos o no, atribuidos a los proyectos de mejora.
6. Ayudar en la resolución de conflictos dentro y fuera del equipo.
7. Recoger y analizar datos sobre las actividades del equipo.
8. Ayudar a los equipos a promocionar y celebrar sus éxitos.
9. Aprobar los proyectos terminados.

Cuando sea posible, el entrenamiento estadístico debe ser dirigido solamente por un Master Black Belt calificado, si es necesario que los Black Belt y Green Belt realicen el entrenamiento deben hacerlo bajo su guía.

### **Black Belts:**

Los Black Belt son seleccionados entre los mejores líderes jóvenes que hay en las empresas, se forman adecuadamente y son expertos de mejora a tiempo completo tras su graduación del curso de formación.

El jefe de equipo o Black Belt es la persona directamente responsable del trabajo diario y los resultados de un proyecto Seis Sigma. Es habitualmente alguien familiarizado con el trabajo que se

está analizando y suele formar parte del proceso que se intenta mejorar. Sus responsabilidades incluyen:

1. Revisar y aclarar la necesidad de acometer el proyecto con el Champion y ayudarle a comprender como se aplican las diferentes técnicas de Seis Sigma en el trabajo diario.
2. Trabajar con los miembros de equipo para desarrollar y actualizar el cuadro de proyecto y el plan de implantación.
3. Seleccionar o ayudar a seleccionar a los miembros del equipo
4. Identificar y conseguir recursos y datos para el equipo.
5. Apoyar a los miembros de equipo y ayudarles a aprender y utilizar la metodología Seis Sigma y sus herramientas estadísticas.
6. Asegurarse de que el equipo utiliza su tiempo de forma efectiva utilizando técnicas para la gestión de reuniones y herramientas para la toma de decisiones y la planificación de proyectos.
7. Mantener la planificación del proyecto y ayudar al equipo a avanzar para que complete el proyecto en los plazos preestablecidos.
8. Apoyar la implantación de las mejoras en los procesos de la empresa trabajando con sus responsables y propietarios.
9. Registrar los resultados del proyecto y crear un documento que muestre el trabajo y los resultados del equipo, habitualmente, una presentación para el consejo directivo.

10. Calcula los ahorros del proyecto
11. Completa de cuatro a seis proyectos por año.
12. Comunica los beneficios del proyecto a todos los asociados con el proceso.

### **Green Belts**

Este rol se dedica a los mandos intermedios como ingenieros, compradores, planificadores y supervisores. Sus tareas son similares a las de un Black Belt, a excepción de que generalmente:

1. Dirigen proyectos que se limitan a su área funcional
2. Poseen menor entrenamiento que Black Belts
3. Se encuentran involucrados a tiempo parcial

### **White Belts/Yellow Belts**

El alcance es operarios, administrativos y personal de primera línea. Proporcionan el cerebro y los músculos para la recolección de datos y su posterior análisis para la mejora del proceso. Como casi nunca

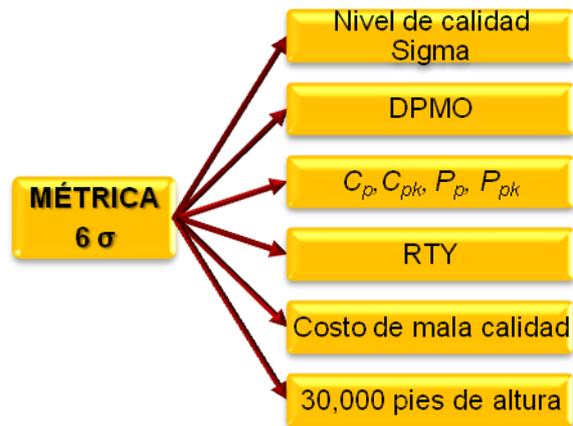
se dedican al proyecto a tiempo completo, deben acordar con su jefe inmediato como lo compaginarán con su trabajo diario. Los miembros de equipo deben estar dispuestos a:

1. Hacer todo tipo de preguntas y participar activamente en el trabajo de equipo tanto en las reuniones como fuera de ellas.
2. Seguir las instrucciones para la recolección y análisis de datos.
3. Escuchar a los demás de forma activa y demostrar sus habilidades para la gestión de reuniones en las deliberaciones, decisiones y planes.
4. Llevar a cabo las tareas que se le encomienden entre las reuniones y explicar sus resultados al equipo.

## **2.4 MÉTRICA DE SEIS SIGMA**

La métrica junto con la estrategia son considerados los componentes más importantes en la implementación de Seis Sigma. En la Figura 2.5 se muestran las principales mediciones aplicadas (1).

Es muy importante que las organizaciones seleccionen el mejor conjunto de métricas de manera que sean apropiadas para la situación o proceso (1).



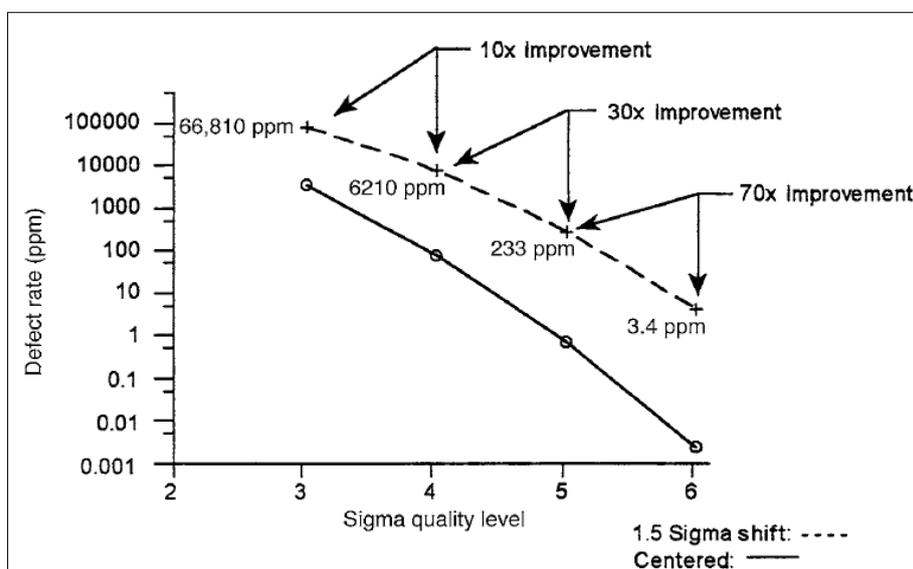
**Figura 2.5** La Métrica de Seis Sigma (1)

Si se considera un nivel de calidad de 99% equivale a:

- 20,000 artículos de correo perdidos por hora
- Agua no potable por aproximadamente 15 minutos al día
- 5,000 operaciones quirúrgicas incorrectas por semana
- Corto o largo aterrizaje en los aeropuertos más importantes a diario
- 200,000 recetas de medicamentos equivocados cada año
- No electricidad por casi 7 horas al mes

Este nivel de calidad no es satisfactorio. El nivel de calidad Sigma es utilizado generalmente como una medida dentro de un programa de Seis Sigma, incluyendo los cambios o movimientos típicos  $\pm 1.5 \sigma$  de la media. La relación de los diferentes niveles de calidad sigma no es lineal, es decir que el porcentaje de incremento de la tasa de defectos en partes por millón no es igual al porcentaje de mejora en el nivel Sigma.

Este comportamiento se ilustra en la Figura 2.6, sin embargo, si surge la necesidad de realizar conversiones entre tasas de defectos y el nivel de calidad de sigma, la Tabla 3 facilita la conversión.



**Figura 2.6** Tasa de defectos (ppm) versus Nivel de Calidad Sigma (1)

**Tabla 3. Conversión entre ppm y Nivel de Calidad Sigma (1)**

<b>Nivel sigma</b>	<b>% Dentro de Especificación</b>	<b>DPMO</b>
$\pm 1\sigma$	30.23	697,700
$\pm 2\sigma$	69.13	308,700
$\pm 3\sigma$	93.32	66,810
$\pm 4\sigma$	99.3790	6,210
$\pm 5\sigma$	99.97670	233
$\pm 6\sigma$	99.999660	3.4

Seis Sigma permite “eliminar” la variabilidad en los procesos y alcanzar un nivel de defectos mínimo. Para asegurar que los productos estén dentro de la especificación del cliente, se debe controlar la variabilidad (8).

#### **2.4.1 Variación y Distribución Normal**

La clave para un análisis estadístico exitoso es la identificación de las variaciones, sus fuentes y sus estimaciones. La variación es inherente a casi todo. Con el fin de lograr un objetivo determinado para el negocio, las capacidades y la variabilidad del proceso deben ser bien establecidas y controladas (2).

Existen dos causas para la variabilidad:

### **Causas comunes**

Son el efecto combinado de muchas fuentes pequeñas de variabilidad que son inherentes al proceso. Si sólo causas comunes están presentes en un proceso, éste se considera un proceso bajo control o estable y representan una oportunidad de mejora. También se conocen como causas permanentes o no asignables o como variación normal (7). Los diagramas de Pareto son muy útiles para identificar las causas comunes de variación en los procesos de manufactura (3).

### **Causas especiales**

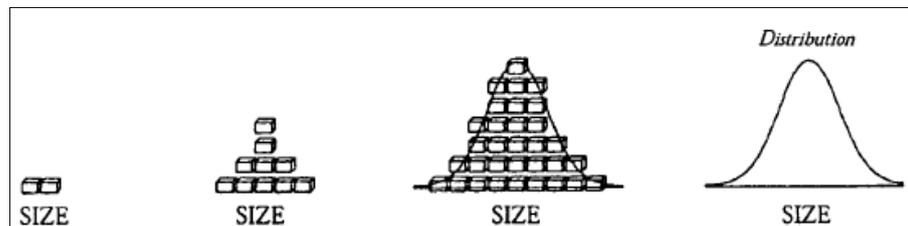
Ocasionan un cambio excepcional o inesperado en el mismo. Causas especiales se pueden identificar porque se deben a menudo a cambios en el proceso como maquinaria o personas. También se conocen como causas asignables clasificando al proceso como fuera de control o inestable y es necesario concentrar los esfuerzos para encontrar y eliminar estas causas especiales para estabilizar el proceso (7).

## **Distribuciones**

Un concepto central en SPC es que todo fenómeno medible es una distribución estadística, es decir, un conjunto observado de datos constituye una muestra de los efectos de las causas comunes desconocidas. De ello se desprende que, después de haber hecho todo lo posible para eliminar las causas especiales de variación, todavía permanecerá una cierta cantidad de variabilidad que muestra el estado de control (5).

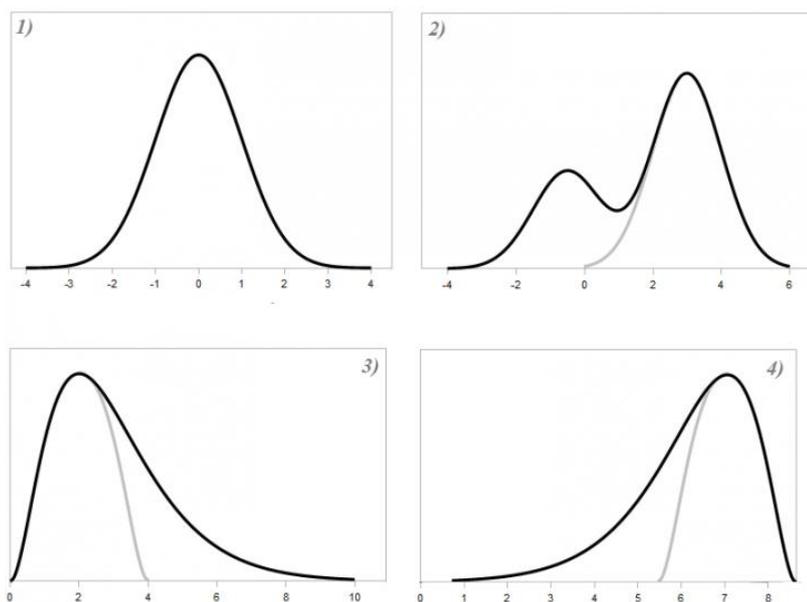
Al tomar una muestra de productos y clasificarlos por una unidad como su altura o peso se obtiene como resultado una distribución del producto de acuerdo con la unidad que se usa para la clasificación.

La extensión de las características de un producto de acuerdo a una unidad de clasificación debe darle una distribución Normal cómo se muestra en la Figura 2.7. En algunos casos ésta se conoce como la Curva de Gauss o la curva en forma de campana (7).



**Figura 2.7** Distribución Normal (5)

En una distribución hay tres propiedades básicas: localización, amplitud y forma. La posición y la forma de una distribución dependen de los parámetros  $\mu$  y  $\sigma$ , lo que puede generar un número variado de formas dando como resultado una distribución asimétrica como se muestra en la Figura 2.8 (5).



**Figura 2.8** Tipos de distribución: 1) Normal, 2) Bimodal, 3) Sesgada a la derecha, 4) Sesgada a la izquierda (18)

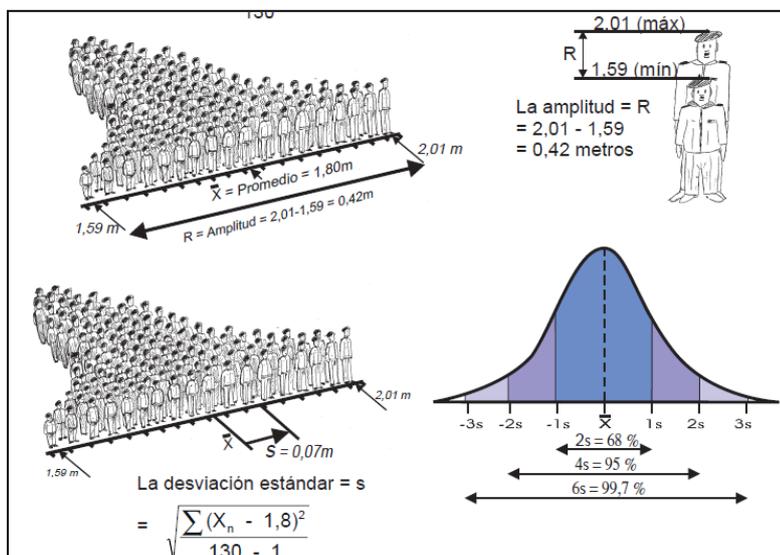
## Desviación Estándar

La desviación estándar ofrece una medida de la variabilidad del proceso. Es la raíz cuadrada del promedio de diferencias desde la media.

El modo más simple de usar la desviación estándar es describir dónde están situadas ciertas proporciones de datos en relación al promedio (7).

Seis Sigma se centra en el concepto de DPMO. Este usa el estándar de distribución normal como sistema de medición, donde se representa la media como ( $\mu$ ) y a la desviación estándar como ( $\sigma$ ).

En la Figura 2.9 se ilustra con un ejemplo que el 68% de la población se encuentra dentro de  $\pm 1.0 \sigma$  de la media, 95 % de la población está dentro de  $\pm 2.0 \sigma$  de la media y el 99.7% de la población se encuentra dentro de  $\pm 3.0 \sigma$  de la media (7).



**Figura 2.9** Desviación Estándar (7)

#### 2.4.2 Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO).

Algunas organizaciones se enfocan solamente en la tasa de defectos al finalizar un proceso. Por ejemplo, si se producen 200 unidades y 10 unidades fallaron los controles, la tasa de defectos reportados es 5% (3).

Un cálculo de defectos por unidad puede dar información adicional sobre un proceso al incluir el número de oportunidades para fallar. Una métrica de defectos por unidad considera la cantidad de oportunidades para fallar dentro de los cálculos. Para ilustrar la metodología, se considera el esquema

presentado en la Tabla 4, donde DPMO es igual al número de defectos contados, divididos por el número actual de oportunidades, multiplicado por un millón (3).

**Tabla 4. Formato para Cálculo de DPMO (3)**

Tipo de características	Defectos	Unidades	Oportunidades	TOP	DPU	DPO	DPMO
Descripción	D	U	OP	UxOP	D/U	D/TOP	DPO x 1,000,000

Con una métrica DPMO se puede tener una medida uniforme para el proceso y no sólo para el producto. Medidas que se centran en el proceso conducen directamente a las actividades eficaces de mejora de los procesos (3).

#### **2.4.3 Capacidad de Proceso.**

Una medida que describe el grado en el cual el proceso cumple los requerimientos del cliente es la capacidad del proceso.

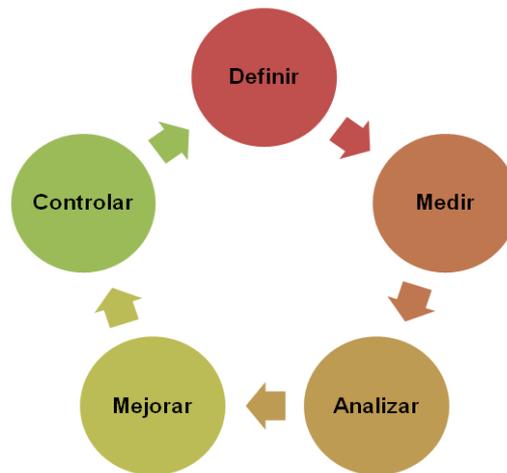
El  $C_p$  compara el ancho de las especificaciones con respecto a la amplitud de la variación real del proceso cuando los datos

siguen una distribución normal, independiente de la ubicación y centrado del proceso (3).

Un proceso con un nivel de calidad Seis Sigma tiene la habilidad de lograr índices de  $C_p$  y  $C_{pk}$  de 2,0 y 1,5 respectivamente. Para lograr esta capacidad la meta a alcanzar de un programa Seis Sigma es producir al menos 9.99966% de calidad, no más de 3.4 defectos en un millón de piezas producidas en el largo plazo (15).

## **2.5 FASES DE SEIS SIGMA DMAIC**

Es una herramienta de la metodología Seis Sigma enfocada en la mejora incremental de procesos existentes. La herramienta es una estrategia de calidad basada en estadística, que da mucha importancia a la recolección de información y a la veracidad de los datos como base de una mejora. Cada paso en la metodología se enfoca en obtener los mejores resultados posibles para minimizar la posibilidad de error (16).



**Figura 2.10** Fases del Proceso Seis Sigma  
Elaborado por: Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

### 2.5.1 DEFINIR

En esta fase se trata de detectar el problema, definir CTQ's aplicando VOC, el impacto que tiene para el negocio la realización del proyecto, las metas que se pretenden lograr, el alcance y los ahorros financieros (15).

#### 2.5.1.1 Identificación de clientes internos y externos

El primer paso en la definición de un proyecto es identificar cuáles son los clientes a los cuales el proceso impacta. Estos pueden ser:

**Cliente Interno:** Es el personal interno afectado por el producto o servicio generado.

**Cliente Externo:** Todos aquellos a los que la empresa provee un producto o servicio, estos se dividen en usuarios finales, clientes intermediarios y otros que son impactados pero que no usan ni compran el producto.

#### **2.5.1.2 Determinar los CTQ's del proyecto**

Se refiere a un atributo o característica de calidad de un producto o servicio que es importante para el cliente y tiene como objetivo reducir los costos, aumentar la satisfacción del cliente y aumentar las utilidades (15).

Para determinar los CTQ, se debe que conocer VOC mediante la cual se puede tener información acerca del grado de satisfacción de las fuentes seleccionadas (15).

En la determinación de los CTQ's se puede tomar como base: metas del negocio, entrevistas, encuestas, quejas, datos de benchmarking, matriz de causa efecto, tendencias del mercado futuras (15).

### 2.5.1.3 Selección del problema:

El problema se selecciona en base a los resultados de los indicadores establecidos en la organización. Entre los criterios para seleccionar el problema,

- Seguridad
- Calidad
- Costos
- Entrega
- Nivel de servicio

Es recomendable expresar los antecedentes, la importancia y la prioridad de los problemas. Se debe explicar porque se seleccionó el problema ya sea por (15):

- Efecto económico, reclamo de mercado, rechazos, porcentaje de pérdidas, disponibilidad.
- Impacto para los procesos posteriores, monto de pérdida, incremento de tiempo de operación, paro de línea, desperdicio, costo de falla, baja eficiencia.

#### **2.5.1.4 Impacto en el negocio**

En este punto se enuncia como impacta la mejora del proceso al negocio. Se menciona cuales serían las consecuencias en caso de no realizar el proyecto. Se debe conocer cuál ha sido la situación en el negocio debido al proceso actual (15).

Es importante describir como se alinea el proyecto con las iniciativas y metas del negocio definidas por la dirección (15).

#### **2.5.1.5 Descripción del problema**

Se debe estratificar para definir el problema que tiene el proceso, el producto o el servicio de forma clara, concisa y específica, indicando cualitativamente de ser posible en cifras o porcentajes que demuestren la necesidad de modificar su estado actual (15).

Para expresar concretamente el grado del problema podemos establecer restricciones en la declaración del mismo (8):

**¿Qué?** – ¿Qué es el defecto?

**¿Dónde?** – ¿Dónde es observado geográficamente el defecto? ¿En qué parte del producto?

**¿Cuándo?** – ¿Cuándo fue la primera vez que observó el defecto? ¿Cuál es su historia? ¿Existe un patrón de comportamiento?

**¿Qué tanto?** – ¿Cuántos objetos presentan el defecto? ¿Cuántos defectos se presentan por objeto? ¿Cuál es la tendencia?

**¿Cómo lo sé?** – ¿Cuál es el estándar que no se cumple?

#### **2.5.1.6 Definición y Alcance del proyecto**

Para determinar los objetivos del proyecto se debe preguntar ¿Qué es lo que vamos a obtener con la realización del proyecto? Generalmente es mejorar e implementar el proceso para una fecha específica (15).

El alcance sirve para delimitar el proceso, es decir:

- Punto de inicio: Identificar la actividad en donde empieza el proceso
- Punto final: Identificar la actividad donde termina el proceso
- Dentro del alcance: Actividades que se encuentran dentro del proceso
- Fuera del alcance: Actividades que no están dentro del proceso

#### **2.5.1.7 Ahorro**

Identificar de dónde se van a obtener los ahorros tanto financieros como no financieros para el proyecto tales como (15):

- Utilidades adicionales por mejoras en costo, calidad, disponibilidad
- Menores pérdidas por desperdicio, devoluciones, garantías, costo de falla, baja eficiencia

- Costos de: personal, materiales, equipos, rentas, subcontratación, consultoría, fondos de contingencia

#### **2.5.1.8 Selección del equipo de trabajo**

Se refiere a seleccionar a las personas clave que intervienen o que están involucradas directamente y que reciben beneficios del proceso (15).

Se debe incluir nombre, posición roles y responsabilidades a desempeñar en el desarrollo del proyecto. Es necesario incluir además de los miembros del equipo, al Champion del proceso así como un Black Belt que apoye y asesore a los equipos de proyecto guiados por Green Belts (15).

#### **2.5.1.9 Diagrama SIPOC**

Es un macro mapa del proceso que ayuda a mantener una perspectiva del panorama general. Permite definir los límites y alcances de un proyecto, además de

verificar si las entradas supuestas están efectivamente relacionadas con las salidas del proceso (8).

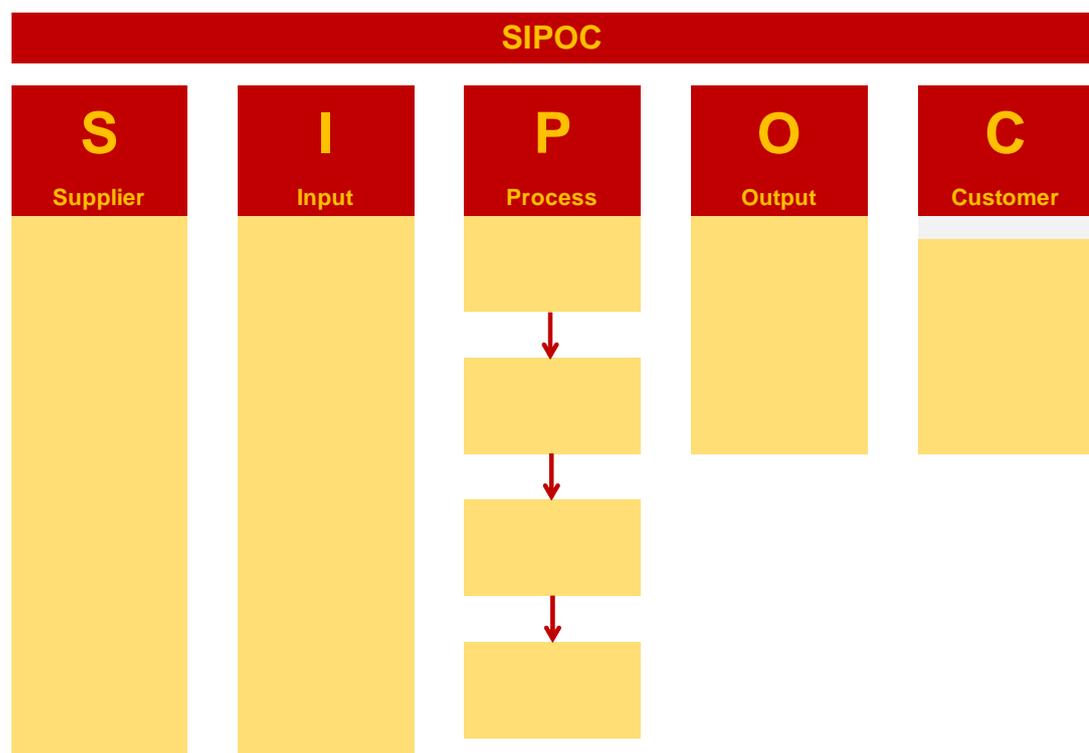


**Figura 2.11** Diagrama SIPOC (8)

Para construir el diagrama SIPOC, los miembros del equipo deben (15):

- 1) Crear el mapa de proceso.
- 2) Identificar los proveedores clave del proceso
- 3) La sección de entrada debe incluir una lista de las entradas del proceso ¿De dónde vienen los materiales?
- 4) La sección de Proceso debe ser de alto nivel, contiene de cuatro a siete pasos clave (cómo se transforma el producto)

- 5) Identificar las salidas del proceso ¿Cuál es el resultado final, producto o servicio de este proceso?
- 6) Como paso opcional identificar algunos requerimientos preliminares de los clientes.
- 7) Involucrar al líder del equipo, champion y otros grupos interesados en la verificación del proyecto.



**Figura 2.12** Plantilla SIPOC (19)

### 2.5.1.10 Entregables

En esta etapa los entregables serían (15):

- *Identificar los requerimientos del cliente:* Identificar al cliente, recolectar los datos para identificar los requerimientos del cliente, construir un mapa de proceso
- *Project Charter:* Desarrollar el enunciado del problema y de la meta, evaluar el alcance del proyecto, seleccionar a los integrantes del equipo y sus roles, desarrollar el contrato buscar la aprobación del contrato
- Plan de Trabajo
- Mapa del proceso

### 2.5.2 MEDIR

Permite entender el estado actual del proceso y analizar qué información se recolectará en el futuro con el fin de proseguir con el análisis del proceso (8).

Esta fase es importante porque asegura que los datos que se relacionan con los requerimientos del cliente y el desempeño actual del proceso sean precisos, claros y confiables. El propósito de esta fase es medir la variación existente para saber si existen datos que se encuentren fuera de especificaciones y causen problemas en el proceso (15).

#### **2.5.2.1 Establecer y validar el plan de recolección de datos**

Para realiza la recolección de datos se puede usar el diagrama 5W-1H el cual consiste en contestar las siguientes preguntas para recolectar datos confiables, que reflejen la realidad de lo que está sucediendo (15):

- (What) ¿Qué vamos a medir?
- (Why) ¿Por qué vamos a medir eso?
- (Where) ¿En dónde lo vamos a medir?
- (Who) ¿Quién va a medir qué?
- (When) ¿Para cuándo lo van a hacer?
- (How) ¿Cómo lo vamos a medir?

Se pueden desarrollar guías que ayuden a los recolectores a tomar los datos, por ejemplo la elaboración de una plantilla como la presentada en la Tabla 5.

**Tabla 5. Plantilla de Plan de Recolección de Datos (8)**

Métrico	Definición operacional	Tamaño de muestra	Origen y locación	Método de Recolección	Quién recolectará los datos

Es importante conocer que el tipo de dato identificado influye directamente en el método de análisis que se aplique sobre los mismos. Estos se clasifican en (8):

**Datos Continuos.** Cualquier variable medida en una escala que pueda ser infinitamente dividida. Son usualmente preferidos debido a la gran cantidad de herramientas con las que se cuentan para analizarlos.

**Datos Discretos.** Estos pueden ser:

**Binomiales:** Datos que tienen únicamente dos opciones. Ejemplo: Entregado a tiempo (s/n).

**Nominales:** Los datos son nombres o etiquetas. No existe razón para colocarlos en un orden particular.

Ejemplo: Maq.1, Maq.2, Maq.3

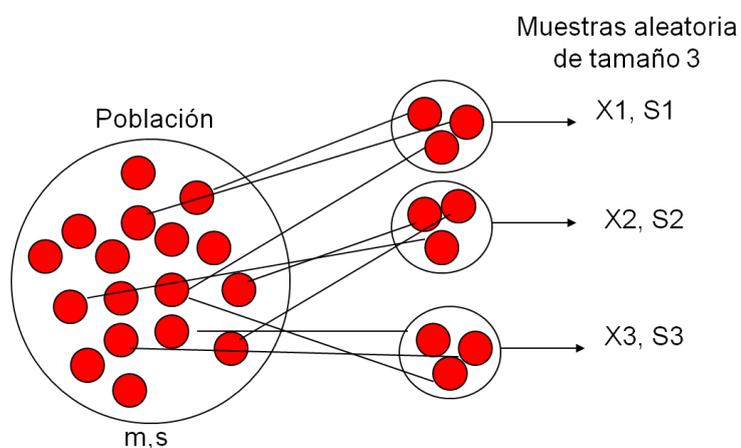
**Ordinales:** Los nombres o etiquetas representan un valor inherente. Ejemplo: Excelente, muy bueno, bueno, regular, insuficiente

Para la generación de datos se aplica el muestreo, que consiste en tomar uno o más sub-grupos de datos de un grupo mucho mayor con el fin de tomar decisiones acerca del grupo en general.

Se debe seleccionar el tamaño de muestra y la frecuencia de muestreo en base al sistema de medición, capacidad del proceso y requerimientos de la operación (8).

### Tamaño de la muestra.

Para definir el tamaño de la muestra es necesario conocer el nivel de confianza al que queremos trabajar y cuál es el error máximo que estamos dispuestos a admitir en la estimación (17).



**Figura 2.13** Subdivisión de Datos (8)

La fórmula para el cálculo del tamaño de muestra para datos continuos es (8)

$$n = \frac{(1.96s)^2}{\Delta^2}$$

**n** = Tamaño de muestra

**1.96** = Representa un nivel de confianza del 95%

**s** = estima la desviación estándar de los datos

**Δ** = El nivel de precisión de la muestra. La diferencia que se espera detectar.

La fórmula para el cálculo del tamaño de muestra para datos discretos es (8)

$$n = \frac{(1.96)^2 p (1 - p)}{\Delta}$$

**n** = Tamaño de muestra

**p** = Proporción de la población que mantiene la característica que se busca.

**Δ** = El nivel de precisión de la muestra.

**1.96** = Representa un nivel de confianza del 95%

### **Tipos de Muestreo**

**Muestreo de una Población:** Extraer elementos de un grupo definido con límites establecidos. No existe el elemento *tiempo* (8).

**Proceso:** Muestra de un flujo cambiante de ítems moviéndose a través del negocio. Se incluye el elemento *tiempo* (8)

### **Formas de selección de muestra.**

**Aleatoria:** El mejor método para situaciones poblacionales, se sugiere emplear números aleatorios (8).

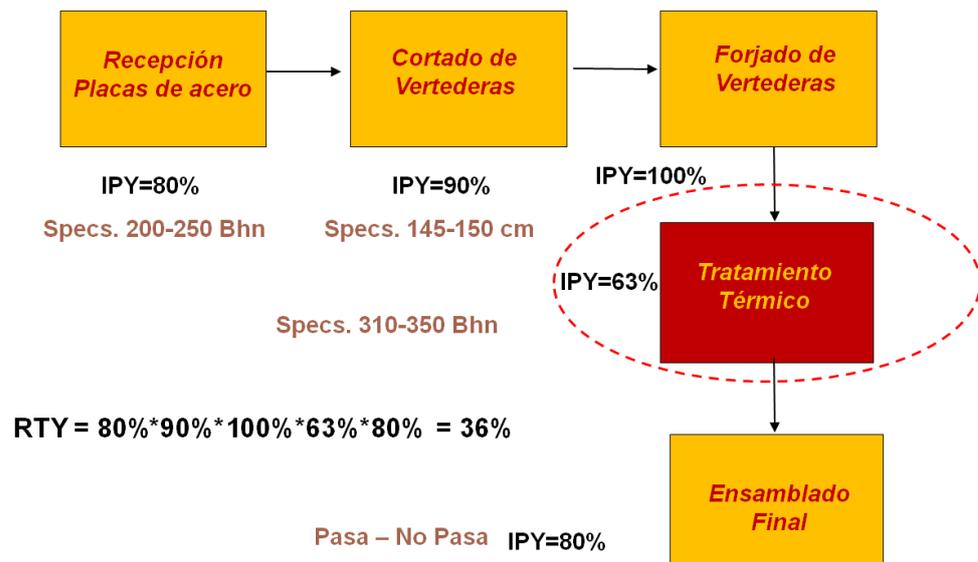
**Sistemática:** Se selecciona una unidad cada  $n$  unidades. El riesgo de sesgo se genera cuando el patrón de la muestra coincide con un patrón en el proceso (8).

### **2.5.2.2 Mapeo del Proceso**

Existen 3 tipos de mapas de proceso:

**a) Macro mapa del proceso.** Es una fotografía a gran altura del proceso que ayuda a enfocar y definir el alcance del proyecto incluyendo los pasos más importantes y sintetizados. Los elementos de un Macro mapa son:

- Pasos principales del proceso
- Especificaciones del producto de los pasos principales
- Estimados de los principales indicadores Seis Sigma RTY, DPU, Tiempo de ciclo.
- Se debe siempre resaltar el área objetivo del proyecto



**Figura 2.14** Ejemplo de Macro Mapa de Proceso (8)

b) **Diagrama de Flujo de Proceso.** Muestra la trayectoria de un producto o procedimiento señalando todos los hechos sujetos a examen mediante el símbolo que corresponda. Entre los elementos de un DFP se tiene (8):

- Todos los pasos documentados del proceso
- Fábrica oculta (Aquello que es parte del proceso pero que no se encuentra documentado)
- Puntos de recolección de datos.
- Equipos Empleados.
- Identificación de operaciones como VA o NVA.
- Control de documentos.

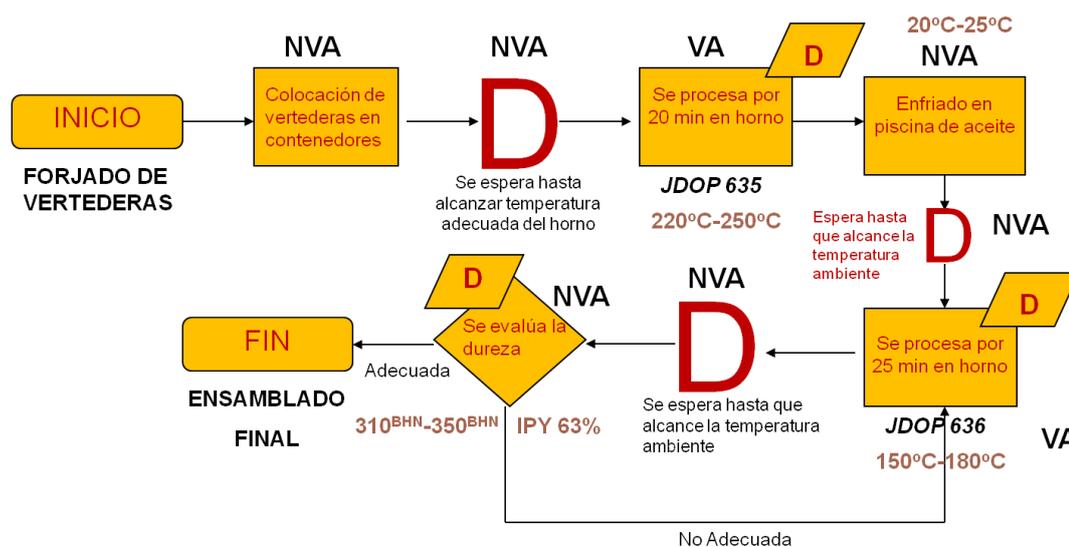


Figura 2.15 Ejemplo de DFP (8)

**c) Mapa del proceso detallado.** El mapa de proceso detallado se basa en el DFP en el que se debe reflejar (8):

- La fábrica oculta.
- Las entradas (x) y salidas (Y) del proceso.
- Los límites de especificación.
- Equipos y herramientas utilizadas.

Se convierte en la entrada de la matriz causa efecto, el AMEF e incluso el Plan de Control. Dentro del procedimiento del mapa de proceso detallado se debe:

1. Listar los pasos del DFP

2. Agregar columnas o renglones para:

- ✓ VA/NVA
- ✓ Documentos
- ✓ Entradas y Salidas
- ✓ TIPO E/S
- ✓ Especificaciones
- ✓ Controlable o no controlable

- ✓ Capacidad
- ✓ Equipo

Por la cantidad de información empleada en este caso, se sugiere para su desarrollo el uso de una hoja de cálculo como la mostrada en la Tabla 6.

**Tabla 6. Ejemplo de Mapa de Proceso de Detallado (8)**

Pasos del proceso	VA/NVA	DOC	Entradas y Salidas	E/S	Especificaciones	C/N	Capacidad	Equipo
Colocar vertederas	NVA		Vertederas cargadas	Salida	lleno		95%	Contenedor
			Vertederas forjadas	Entrada	0 grietas	C		
Esperar temperatura	NVA		Temperatura del horno	Salida	220 °C - 250 °C		-	Horno IT 65
			Combustible	Entrada	< 0.05%	NC		
			Apertura de válvula	Entrada	20 mm	C		
			Temperatura ambiente	Entrada	> 25 °C	NC		
Procesar en horno 1		JDOP635	Dureza de la vertedera	Salida	380 Bhn - 400 Bhn		-	Horno IT 65
			Temperatura del Horno	Entrada	220 °C - 250 °C	NC		
			Temperatura ambiente	Entrada	> 25 °C	C		
			Nivel de Carbono vertederas	Entrada	0.01%	C		
Enfriar en aceite	NVA							
Enfriar al ambiente	NVA							
Procesar en horno 2	VA	JDOP635						
Enfriar al Ambiente 2	NVA							
Evaluar dureza Bhn	NVA							

### **2.5.2.3 Estadística básica para la fase de Medición**

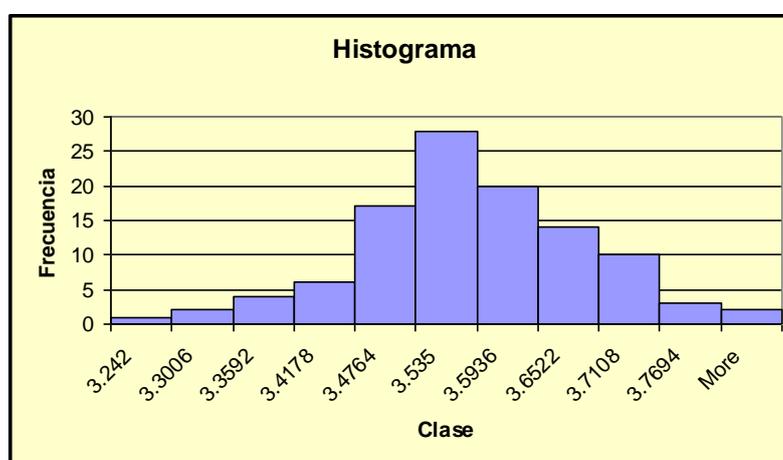
#### **2.5.2.3.1 Histogramas**

El Histograma se emplea para ilustrar muestras agrupadas en intervalos. Está formado por rectángulos unidos a otros, cuyos vértices de la base coinciden con los límites de los intervalos y el centro de cada intervalo es la marca de clase, representado en el eje de las abscisas. La altura de cada rectángulo es proporcional a la frecuencia del intervalo respectivo en un diagrama de barras donde las bases corresponden a los intervalos y las alturas a las frecuencias (15). Para construir un histograma se recomienda tener un mínimo de 30 a 100 datos.

En la Tabla 7 se hace referencia a la cantidad de rectángulos a utilizar para construir un histograma.

**Tabla 7. Pautas de Determinación de Rectángulos para Construcción de Histogramas (5)**

Tamaño de la Muestra	Número de rectángulos
$\leq 100$	7 – 10
101 - 200	11 – 15
$\geq 201$	13 – 20



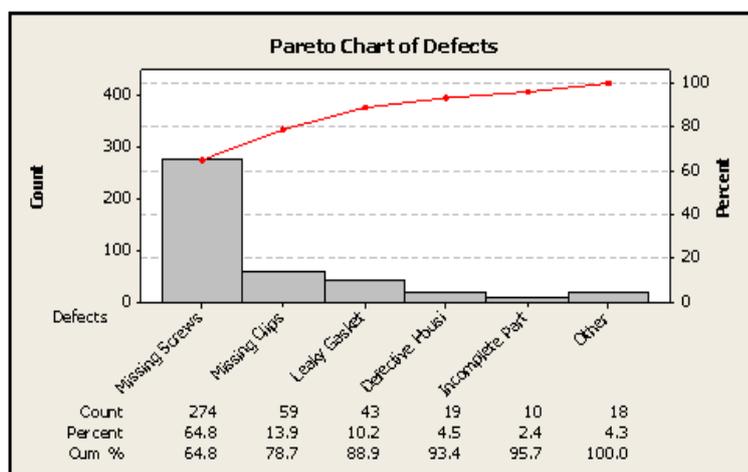
**Figura 2.16** Distribución de Frecuencias e Histograma (15)

### 2.5.2.3.2 Diagrama de Pareto

El principio enuncia que aproximadamente el *80% de los efectos* de un problema se debe a solamente *20% de las causas* involucradas.

El diagrama de Pareto es una gráfica de dos dimensiones que se construye listando las

causas de un problema en el eje horizontal, empezando por la izquierda para colocar a aquellas que tienen un mayor efecto sobre el problema, de manera que vayan disminuyendo en orden de magnitud. El eje vertical se dibuja en ambos lados del diagrama: el lado izquierdo representa la magnitud del efecto provocado por las causas, mientras que el lado derecho refleja el porcentaje acumulado de efecto de las causas, empezando por la de mayor magnitud (15).



**Figura 2.17** Diagrama de Pareto

### 2.5.2.3.3 Diagrama de Causa Efecto (Ishikawa)

Llamado diagrama de Ishikawa o espina de pescado, es la representación de varios elementos (causas) de un sistema que pueden contribuir a un problema (efecto). Es utilizado cuando se necesita identificar las posibles Causas de un problema específico (15).

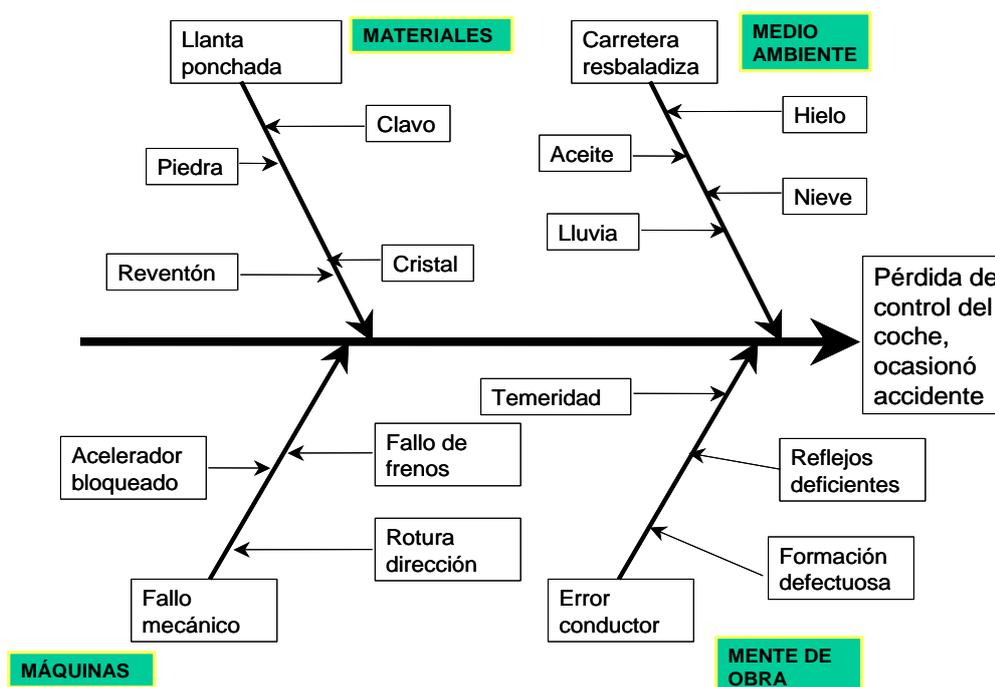


Figura 2.18 Ejemplo de Diagrama Causa Efecto (15)

#### 2.5.2.4 Análisis de Capacidad

La capacidad del proceso mide la frecuencia con que los productos que se obtienen de un proceso cumplen con las especificaciones comparando la variación con los límites de especificación (8). La capacidad del proceso estima toda la variabilidad dentro del proceso incluyendo la aportación de las 6 Ms clásicas: mano de obra, material, método, medición, medio y máquina (7).

Las ecuaciones para calcular los índices de capacidad de proceso son sencillas, pero sensibles al valor de la desviación estándar que estará en función de las causas de variación y si éstas son a corto o largo plazo (3). Los índices de capacidad asociados a la variación a corto plazo son  $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $C_{pU}$ , y  $C_{pL}$ ; por otro lado, los índices de capacidad asociados a la variación a largo plazo son  $P_p$ ,  $P_{pk}$ ,  $P_{pU}$ , y  $P_{pL}$  (27).

$C_p$  y  $C_{pk}$  son indicadores para medir la variabilidad en un proceso, mientras que la capacidad de la máquina

$(C_m, C_{mk})$  estima la variabilidad generada solamente por la máquina.

### **Variación a corto plazo y a largo plazo**

Existen dos maneras de expresar la variabilidad:

**Variación a corto plazo ( $Z_{st}$ ):** Los datos son recogidos durante un periodo de tiempo suficientemente corto para que sea improbable que haya cambios y otras causas especiales (15).

**Variación a Largo Plazo ( $Z_{lt}$ ):** Los datos son recogidos durante un periodo de tiempo suficientemente largo y en condiciones suficientemente diversas para que sea probable que contenga algunos cambios de proceso y otras causas especiales (15).

### **Cálculo de la capacidad del proceso**

Para calcular la capacidad del proceso se utiliza la siguiente fórmula:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

El índice de capacidad que representa el proceso de centrado se denomina  $C_{pk}$  y evalúa la capacidad real del proceso considerando: las dos especificaciones, la variación y el centrado del proceso (8).

Consiste en el valor mínimo entre el índice de capacidad superior CPU y el índice de capacidad inferior CPL relaciona la distancia entre la media del proceso y el límite de especificación más cercano a la mitad de la amplitud total del proceso, puede representarse con la siguiente fórmula (3)(8),

$$C_{pk} = \min \left[ \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right]$$

$C_p$  y  $C_{pk}$  deben ser  $> 1$  aumentando con el tiempo hasta  $C_p > 1.67$  y  $C_{mk} > 1.33$  (7). Cuando los índices  $C_p \geq 2$  y  $C_{pk} \geq 1.5$ , se tiene un buen indicador de que se está logrando el nivel Seis Sigma (15).

### Cálculo de la capacidad de la máquina

El propósito de la capacidad de la máquina  $C_m$  es medir su capacidad para producir productos dentro de una especificación (7).

Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$C_m = \frac{\text{Límites de especificación}}{\text{Variabilidad de la máquina}}$$

Tomamos la variabilidad de la máquina =  $6\sigma$

$$C_m = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

$$C_{mk} = \min \left[ \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right]$$

$C_m$  y  $C_{mk}$  deben ser  $> 1.33$  aumentando con el tiempo hasta  $C_m > 2$  y  $C_{mk} > 1.67$  (7).

A continuación se muestran algunas referencias sobre cuándo usar cada uno de los índices:

ÍNDICE	USO	DEFINICIÓN	FÓRMULA
$C_p$ o $P_p$	El proceso está centrado en los límites de especificación	Es el radio entre la amplitud permitida (distancia entre los límites de especificación) y la amplitud natural	$(USL - LSL) / 6\sigma$
$C_{pk}$ o $P_{pk}$	el proceso no está centrado en los límites de especificación, pero está contenido en ellos	Es el cociente entre la amplitud permitida y la amplitud natural, teniendo en cuenta la media del proceso respecto al punto medio de ambos límites de especificación	$\text{Min} \{ (USL - \mu) / 3\sigma, (\mu - LSL) / 3\sigma \}$
CPU o PPU	El proceso sólo tiene un límite de especificación superior		$(USL - \mu) / 3\sigma$
CPL o PPL	El proceso sólo tiene un límite de especificación inferior		$(\mu - LSL) / 3\sigma$

**Figura 2.19** Referencias sobre el uso de los índices de capacidad (27)

### 2.5.2.5 Entregables:

En esta etapa los entregables serían:

- Seleccionar Requerimientos del Cliente: Identificar características medibles del requerimiento del cliente (CTQ's) para el proyecto.
- Definir estándares de desempeño: Desarrollar definiciones operacionales para el proceso a ser medido, Identificar el objetivo de mejora del proceso,

Establecer márgenes de tolerancia (límites de especificación), Definir los conceptos de unidad, defecto y oportunidad de defecto

- Plan colección datos: Validar Sistema de Medición, Desarrollar el Plan de recolección de datos

### **2.5.3 ANALIZAR**

En esta fase se efectúa el análisis de los datos obtenidos en la etapa de Medición, con el propósito de conocer la causa raíz del problema (15). Busca analizar el sistema para identificar maneras de eliminar el gap entre el desempeño actual del sistema o proceso y la meta deseada. Se comienza por determinar la línea base actual. Utiliza el análisis de datos exploratorio y descriptivo para ayudar a entender los datos y emplea las herramientas estadísticas para orientar el análisis (5).

En la fase de análisis se encuentran los pocos vitales x's y se determinan aquellos que específicamente afectan el proceso (8).

### **2.5.3.1 Identificar las fuentes de variación**

Cuando un proceso se encuentra fuera de las especificaciones permitidas, se tiene evidencia de que existe variación. Para comprobarlo se utiliza alguna de las herramientas de análisis, según sea el caso. Una vez determinadas las causas de variación, se debe enfocar en los “*pocos vitales x*” que están afectando la variable de respuesta “Y” (15).

### **2.5.3.2 Herramientas básicas para la fase de Análisis**

La Estadística para su estudio utiliza métodos y técnicas estadísticas, los cuales consisten en recopilar, elaborar, interpretar datos numéricos por medio de la búsqueda de los mismos, entre ellos la Estadística Descriptiva y la Estadística Inferencial (24).

#### **2.5.3.2.1 Análisis Descriptivo**

Es la parte de la disciplina que se encarga de ordenar, resumir y analizar un conjunto de datos

mediante una serie de técnicas y métodos (21) y como su nombre lo indica describen y resumen las observaciones obtenidas sobre un fenómeno un suceso o un hecho (23). Permite validar datos obtenidos sobre los posibles factores causales  $x$ 's y la(s) respuestas  $Y$  (8).

#### **2.5.3.2.2 Análisis Gráfico**

El análisis gráfico se refiere a la aplicación de un grupo de herramientas básicas de análisis a un grupo de datos para producir una indicación visual del desempeño (22).

Analiza el comportamiento de factores de interés  $x$ 's y la distribución de probabilidad de su efecto en  $Y$  (8).

Estas herramientas incluyen: Diagrama de Pareto, Gráfico de corridas, Box plot, Histograma, Diagrama de dispersión (22).

### **2.5.3.2.3 Estadística Descriptiva**

La Estadística descriptiva comprende la recopilación, presentación, tabulación, análisis e interpretación de datos cuantitativos y cualitativos, para tomar decisiones que se requieran a fin de que el comportamiento de los datos se mantenga dentro de los parámetros de control establecidos.

Incluye las técnicas que se relacionan con el resumen y la descripción de datos numéricos, gráficas, tablas y diagramas que muestran los datos y facilitan su interpretación (15).

Considera tres áreas de interés: la ubicación de la distribución o de tendencia central, su dispersión, y su forma (5).

La Tabla 8 describe algunas de las medidas estadísticas descriptivas más comunes.

Tabla 8. Estadística Descriptiva (5).

ESTADÍSTICA DE LA MUESTRA	DEFINICIÓN	ECUACIÓN /SÍMBOLO
<b>Medidas de localización</b>		
Media de la población	Centro de gravedad o centroide de distribución	$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$
Media de la muestra	Centro de gravedad o centroide de una muestra de una distribución	$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
Mediana	Precisamente la mitad del conjunto de datos estará por encima de la mediana y la media por debajo de ella	$\tilde{X}$
Moda	El valor que ocurre con mayor frecuencia. Si se agrupan los datos, la moda es el grupo con la frecuencia más alta	Ninguna
<b>Medidas de dispersión</b>		
Rango	La distancia entre los valores extremos de la muestra	R=Valor máximo – Valor mínimo
Varianza de la población	Una medida de la variación alrededor de la media; Las unidades son el cuadrado de las unidades utilizadas para los datos originales	$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}$
Desviación estándar de la población	Una medida de la variación alrededor de la media, en las mismas unidades que los datos originales	$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$
Varianza de la muestra	Una medida de la variación alrededor de la media; Las unidades son el cuadrado de las unidades utilizadas para los datos originales	$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}$
Desviación estándar de la muestra	Una medida de la variación alrededor de la media, en las mismas unidades que los datos originales	$s = \sqrt{s^2}$
<b>Medidas de forma</b>		
Medida de asimetría	Una medida de la asimetría. La distribución normal tiene una asimetría de cero que indica una asimetría perfecta	$k = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^3}{n} - \frac{3\bar{X} \sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}{s^3} + 2\bar{X}^3$ $k = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^3}{n} - \frac{3\bar{X} \sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}{s^3} + 2\bar{X}^3$
Curtosis	La curtosis es una medida de la planeidad de la distribución. Distribuciones de cola pesados tienen medidas de curtosis grandes. La distribución normal tiene una curtosis de 3.	$\beta_2 = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^4}{n} - 4\bar{X} \frac{\sum_{i=1}^n x_i^3}{n} + 6\bar{X}^2 \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - 3\bar{X}^4}{s^4}$

#### **2.5.3.2.4 Estadística Inferencial**

Referida al procedimiento mediante el cual los resultados de la muestra se trata de hacerlos extensivos a toda la población o universo. Procura mostrar relaciones de causa efecto o pruebas de hipótesis (23).

El término inferencia se define como (5):

- 1) El acto o proceso de derivar conclusiones lógicas a partir de premisas conocidas o asumidos para ser verdad
- 2) El acto de razonar a partir de los conocimientos o de pruebas verdaderas.

La inferencia estadística se utiliza para proporcionar declaraciones de probabilidad con respecto a una inferencia científica. La ciencia intenta dar respuestas a preguntas básicas, ¿Cómo puede esta máquina satisfacer nuestras necesidades? ¿La calidad de este lote se

encuentra dentro de los términos de nuestro contrato? ¿El nuevo método de procesamiento de producir mejores resultados que el anterior?, estas preguntas se responden mediante la realización de un experimento que produce datos. Si los datos varían, entonces la inferencia estadística es necesario interpretar las respuestas a las preguntas planteadas (5).

### **Pruebas de Hipótesis**

Al realizar pruebas de hipótesis, se parte de un valor supuesto (hipotético) en parámetro poblacional. Después de recolectar una muestra aleatoria se compara la estadística muestral, así como la media con el parámetro hipotético, se compara con una supuesta media poblacional. Después se rechaza o no se rechaza el valor hipotético. Se rechaza el valor hipotético sólo si el resultado muestral resulta muy poco probable cuando la hipótesis es cierta (15).

Etapa 1.- Planear la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alternativa ( $H_1$ ).  $H_0$  se refiere siempre a un valor especificado del parámetro de población, no a una estadística de muestra. La letra H significa hipótesis y el subíndice cero no hay diferencia. Por lo general hay un "no" en la hipótesis nula que indica que "no hay cambio".

$H_0$  es una afirmación que no se rechaza a menos que los datos muestrales proporcionen evidencia convincente de que es falsa (20).

$H_1$  es cualquier hipótesis que difiera de la hipótesis nula. Es una afirmación que no se rechaza si los datos muestrales proporcionan evidencia suficiente de que la hipótesis nula es falsa (20).

Etapa 2.- Especificar el nivel de significancia que se va a utilizar. El nivel de significancia es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera. Se le denota mediante la letra griega  $\alpha$  (20).

La distribución de muestreo de la estadística de prueba se divide en dos regiones, una región de rechazo y una región de no rechazo. Si la estadística de prueba cae dentro de la región de aceptación, no se puede rechazar la hipótesis nula (20).

Etapa 3.- Cálculo del valor estadístico de prueba. Valor determinado a partir de la información muestral, que se utiliza para determinar si se rechaza la hipótesis nula. Existen muchos estadísticos de prueba, mencionaremos los estadísticos  $z$  y  $t$ . La elección de uno de estos depende de la cantidad de muestras que se toman, si las muestras de la prueba son iguales a 30 o más se utiliza el estadístico  $z$ , en caso contrario se utiliza el estadístico  $t$  (20).

Etapa 4.- Establecer el valor o valores críticos de la estadística de prueba. Habiendo especificado la hipótesis nula, el nivel de

significancia y la estadística de prueba que se van a utilizar, se establecen el o los valores críticos de estadística de prueba. Puede haber uno o más de esos valores, dependiendo de si se va a realizar una prueba de uno o dos extremos (15).

Etapa 5.- Determinar el valor real de la estadística de prueba, por ejemplo, al probar un valor hipotético de la media poblacional, se toma una muestra aleatoria y se determina el valor de la media muestral. Si el valor crítico que se establece es un valor de  $z$ , entonces se transforma la media muestral en un valor de  $z$ .

Etapa 6.- Tomar la decisión. En este último paso se calcula el estadístico de prueba, se compara con el valor crítico y se toma la decisión de rechazar o no la hipótesis nula. Tenga presente que en una prueba de hipótesis solo se puede tomar una de dos decisiones: aceptar o rechazar la hipótesis nula. Debe

subrayarse que siempre existe la posibilidad de rechazar la hipótesis nula cuando no debería haberse rechazado (error tipo I). También existe la posibilidad de que la hipótesis nula se acepte cuando debería haberse rechazado (error de tipo II) (20).

### **2.5.3.3 Entregables**

- Datos recogidos validados (8).
- Análisis gráfico de relaciones entre las x's y la Y (8)
- X's vitales que afectan significativamente a la Y (8)
- Identificar Fuentes de Variación
- Identificar las posibles causas de variación
- Reducir la lista de causas potenciales
- Determinar Causas Raíces

## **2.5.4 IMPLEMENTAR**

En esta fase se utilizará el diseño de experimentos para seleccionar las causas que más afectan nuestro CTQ e investigar estas causas para conocer el comportamiento del proceso.

El método de DOE consiste en realizar cambios en los niveles de operación de los factores x's para obtener los mejores resultados en la respuesta Y. Esta información es de gran ayuda para la optimización y mejora de procesos (15).

### **2.5.4.1 Planes de implementación**

Con el fin de garantizar que se tomó la decisión correcta, el equipo puede emplear ciclos de mini ensayo conocidos como PDVA que pueden ayudar a refinar las ideas mientras que recoge valiosa información de los interesados. Estos ciclos son una gran manera de averiguar si las pequeñas mejoras son viables de una manera rápida y de bajo impacto (19).

El logro de una implementación exitosa requiere una planificación cuidadosa. El equipo debe considerar la logística, formación, documentación y planes de comunicación. Cuanto más tiempo el equipo pasa a la planificación, más rápido se alcance total adaptación a las mejoras por parte de sus participantes en el proceso (19)

#### **2.5.4.2 Diseño de Experimentos**

El Diseño de Experimentos es un método para probar la significancia, es decir que tanto afectan cada uno de los factores a la variable de respuesta Y para determinar la interacción entre dichos factores (15).

Los propósitos del diseño de experimentos son (15):

- **Determinar:** Cuáles variables son de mayor influencia a la salida, Dónde fijar las entradas para producir la salida al nivel deseado, Dónde fijar las entradas de mayor influencia para reducir la variabilidad en la salida, Dónde fijar las entradas

controlables para que los efectos de las entradas incontrolables sean minimizados.

- Encontrar la ecuación  $Y=f(x)$  para optimizar el proceso.

Existen diferentes tipos de experimentos, estos se detallan en la Tabla 9.

**Tabla 9. Tipos de Experimentos (15)**

TIPOS COMUNES DE EXPERIMENTOS	OBJETIVOS	NÚMERO TÍPICO DE FACTORES CONTROLABLES
<b>Factorial Completo</b> (todas las combinaciones de factores y niveles)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encontrar los niveles de factor que proporcionan los mejores resultados.</li> <li>• Construir un modelo matemático (evalúa todas las interacciones)</li> </ul>	4 ó menos
<b>Fraccional Factorial</b> (subgrupo del número total de combinaciones)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encontrar los niveles de factor que proporcionan los mejores resultados.</li> <li>• Construir un modelo matemático (evalúa todas las interacciones).</li> </ul>	5 ó más
<b>Diseño Central Compuesto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimizar</li> <li>• Construir un modelo matemático cuando no haya efectos lineales (Superficie de respuesta).</li> </ul>	3 ó menos
<b>Diseño Robusto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimizar</li> <li>• Para encontrar los niveles de factores a fin de reducir al mínimo la variación ante factores de ruido cambiantes</li> </ul>	5 ó más
<b>Diseño Robusto Dinámico de Taguchi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimizar</li> <li>• Optimizar la función de un producto o proceso de manufactura.</li> <li>• Reducir al mínimo la sensibilidad al ruido y aumentar al máximo la sensibilidad a la señal de entrada.</li> </ul>	7 ó más

### **2.5.4.3 Matriz de Priorización**

La matriz de priorización es una herramienta que permite la selección de opciones sobre la base de la ponderación y aplicación de criterios. Hace posible, determinar alternativas y los criterios a considerar para adoptar una decisión, priorizar y clarificar problemas, oportunidades de mejora y proyectos y, en general, establecer prioridades entre un conjunto de elementos para facilitar la toma de decisiones (25).

#### **Elaboración de la Matriz de Priorización (25)**

1. Definir el objetivo.
2. Identificar las opciones
3. Elaborar los criterios de decisión.
4. Ponderar los criterios: Mediante una matriz tipo-L se ponderan los distintos criterios confrontándolos con los demás. Para ello, y partiendo del eje vertical, se compara el primer criterio con los restantes, asignando el valor más apropiado según la tabla de valores existente al efecto (Ver Figura 2.20).

PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS	Impacto social	Procesos clave	Personal motivado hacia la mejora	Imagen de la institución	Madurez organizativa	TOTAL	Ponderación del Criterio
1 Impacto social		1,00	5,00	5,00	5,00	16,00	0,29
2 Procesos clave	1,00		5,00	10,00	0,20	16,20	0,29
3 Personal motivado hacia la mejora	0,20	0,20		0,20	1,00	1,60	0,03
4 Imagen de la institución	0,20	0,10	5,00		10,00	15,30	0,28
5 Madurez organizativa	0,20	5,00	1,00	0,10		6,30	0,11
<b>TOTALES</b>	1,60	6,30	16,00	15,30	16,20	55,40	1,00

**Figura 2.20** Ejemplo de Matriz Tipo-L (25)

5. Comparar las opciones

6. Seleccionar la mejor opción: Se utiliza una matriz tipo-L en la que se compara cada opción sobre la base de la combinación de criterios. En esta matriz resumen se sitúan los criterios en el eje vertical y las opciones en horizontal.

Para cada celda de la matriz de priorización se multiplica el valor obtenido de “ponderación del criterio” (para cada criterio) por el valor de “calificación de la opción” (para cada opción).

#### **2.5.4.4 Entregables**

En esta etapa los entregables serían:

- Filtrar Causas Potenciales
- Verificar las x's vitales
- Relacionar variables y proponer soluciones
- Establecer y probar las Tolerancias

#### **2.5.5 CONTROLAR**

Una vez implementadas las mejoras en el proceso, el último paso es asegurar que las implementaciones se mantengan y estén siendo actualizadas a través del tiempo (15).

##### **2.5.5.1 Determinar la capacidad del proceso mejorado**

Después de la implementación de las mejoras el análisis de la capacidad del proceso ayudará a saber si el proceso está bajo control (15).

### **2.5.5.2 Implementar el sistema de control**

Los procesos tienden a degradarse con el tiempo, por lo que es de gran importancia la implementación de un plan de control para cada x, para establecer el plan necesario de los procesos y procedimientos documentados y entrenar al personal que llevará a cabo esta actividad. Una vez implementadas las mejoras se vuelve a calcular los niveles sigma del proceso para conocer el nivel actual (15).

### **2.5.5.3 Plan de control**

Es un resumen de todas las actividades de control para el proceso (15).

Se considera un método para identificar deficiencias en el sistema de control, una lista de las actividades de control para implantar, Una entrada al AMEF (procesos maduros), una salida para el AMEF (procesos nuevos) (15).

#### **2.5.5.4 Desarrollo de un plan de control del proceso**

Entradas para el plan de control (15):

- Mapa de proceso final
- AMEF
- Documentación del proceso
- Requerimientos del cliente
- Estudios de capacidad
- Mantenimiento de procedimientos
- Materiales de entrenamiento
- Guías de solución de problemas
- Calendarios de Calibración
- Ventanas de operación
- Planes de acción fuera de control

#### **2.5.5.5 Tamaño, Frecuencia y Responsabilidad**

- Tamaño de muestra: Seleccionar el tamaño de muestra sobre la base del sistema de medición y capacidad del proceso (15)

- Frecuencia de la muestra: Seleccionar la frecuencia basada en el sistema de medición, capacidad del proceso y requerimientos de la operación (15).
- Responsabilidad, se define quién hace la medición y quién es responsable de asegurar que los datos se tomen y que sean correctos (15).

#### **2.5.5.6 Acción y Documentación**

Considera ¿Dónde se registra?, ¿Dónde residen los datos? ¿Bases de datos, gráficas, ambas?. Cuando se refiere a la Regla de decisión / Acción correctiva las preguntas de entrada son ¿Qué pasa cuando el proceso está fuera de control?. Esto se ilustra en la Figura 2.21 (15).

PROCESO	PARAMETRO DE CONTROL	ESPECIFICACIONES	FRECUENCIA DE ANÁLISIS	RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRAS / CONTROL	MÉTODO DE ANÁLISIS	ÁREA DE PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	REGISTRO DE CALIDAD	INSTRUCCIÓN DE TRABAJO
RECEPCIÓN Y TRASLAJE DE MATERIAS PRIMAS EN SILOS DE COCIMIENTO	HUMEDAD, INFESTACIONES, CONTAMINANTES	MOJADO / NO MOJADO	CADA RECIBO Y LLENADO DE SILO	CERVECERO	BASCULA	SILOS DE COCIMIENTO	REG-428.03	ITR-428.01.02
	PESO	PRESENCIA DE PLAGAS SUBSTANCIAS EXTRAÑAS						
PESAJE DE MALTA	PESO	100 Kg ± 0.3%	CADA COCIMIENTO	CERVECERO	BASCULA	BASCULA KRONOS DE MALTA	REG-428.01	ITR-428.01.03
MACERACIÓN DE ADJUNTOS - CERVEZA	TIEMPO DE DESCANSO DE HIDRATACIÓN/REMOJO	de acuerdo a receta de producción	CADA COCIMIENTO	OPERADOR	REGISTRADORES DE TEMPERATURA DE LOS COMPUTADORES	PAILA DE ADJUNTO	REG-428.02 REG-428.01	ITR-428.01.06
	TIEMPO DE DESCANSO DE GELATINIZACIÓN II							
	TIEMPO DE DESCANSO DE LICUEFACCIÓN							
	TEMPERATURA DE DESCANSO DE GELATINIZACIÓN I							
TEMPERATURA DE DESCANSO DE GELATINIZACIÓN II								

Figura 2.21 Ejemplo de Plan de Calidad de Variables Críticas

Elaborado por: Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

### **2.5.5.7 Cartas de Control**

Las cartas de control son la herramienta más poderosa para monitorear y analizar la variación en la mayoría de los procesos. Enfocan la atención hacia las causas especiales de variación cuando estas aparecen y reflejan la magnitud de la variación debida a las causas comunes, manteniendo las soluciones (15).

Las causas especiales o asignables son por ejemplo: un mal ajuste de máquina, errores del operador, defectos en materias primas.

Un proceso está bajo Control Estadístico cuando presenta causas comunes únicamente, con un proceso estable y predecible.

Cuando existen causas especiales el proceso está fuera de Control Estadístico; las cartas de control detectan la existencia de estas causas en el momento en que se dan, lo cual permite que se pueda tomar acciones al momento.

### 2.5.5.7.1 Cartas de control por variables y atributos

Según sea el tipo de la característica de calidad a controlar así será la carta de control correspondiente, por tanto, se clasifican en Cartas de Control por Variables y Cartas de Control por Atributos (15).

En la Tabla 10 se presenta la comparación de las cartas de control por variables vs atributos.

**Tabla 10. Comparación de las Cartas de Control por Variables Vs Atributos (15)**

	<b>Cartas de Control por VARIABLES</b>	<b>Cartas de control por ATRIBUTOS</b>
<b>Ventajas significativas</b>	Conducen a un mejor procedimiento de control.	Son potencialmente aplicables a cualquier proceso
	Proporcionan una utilización máxima de la información disponible de datos.	Los datos están a menudo disponibles. Son rápidos y simples de obtener. Son fáciles de interpretar.
		Son frecuentemente usados en los informes a la Gerencia.
		Más económicas
<b>Desventajas significativas</b>	No se entienden a menos que se de capacitación; puede causar confusión entre los límites de especificación y los límites de tolerancia.	No proporciona información detallada del control de características individuales.
		No reconoce distintos grados de defectos en las unidades de producto.

### **2.5.5.8 Dispositivos a Prueba de Error**

Un dispositivo Poka-yoke es cualquier mecanismo que ayuda a prevenir los errores antes de que sucedan, o los hace que sean muy obvios para que el trabajador se dé cuenta y lo corrija a tiempo.

El concepto es simple: si no se permite que los errores se presenten en la línea de producción, entonces la calidad será alta y el retrabajo poco.

### **2.5.5.9 Entregables:**

En esta etapa los entregables serían:

- Validar Sistema de Medición (x): Validar el Sistema de Medición (mejorado), Determinar si el Sistema de Medición es apropiado para obtener variables x's Vitales
- Determinar Capacidad del Proceso mejorado
- Sistema Control del Proceso y Cerrar Proyecto: Implementar la estrategia de control de cada

variable x vital, preparar el Plan de Control del Proceso, Implantar la solución, Cerrar el Proyecto.

# **CAPÍTULO 3**

## **3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA**

### **3.1 Definir**

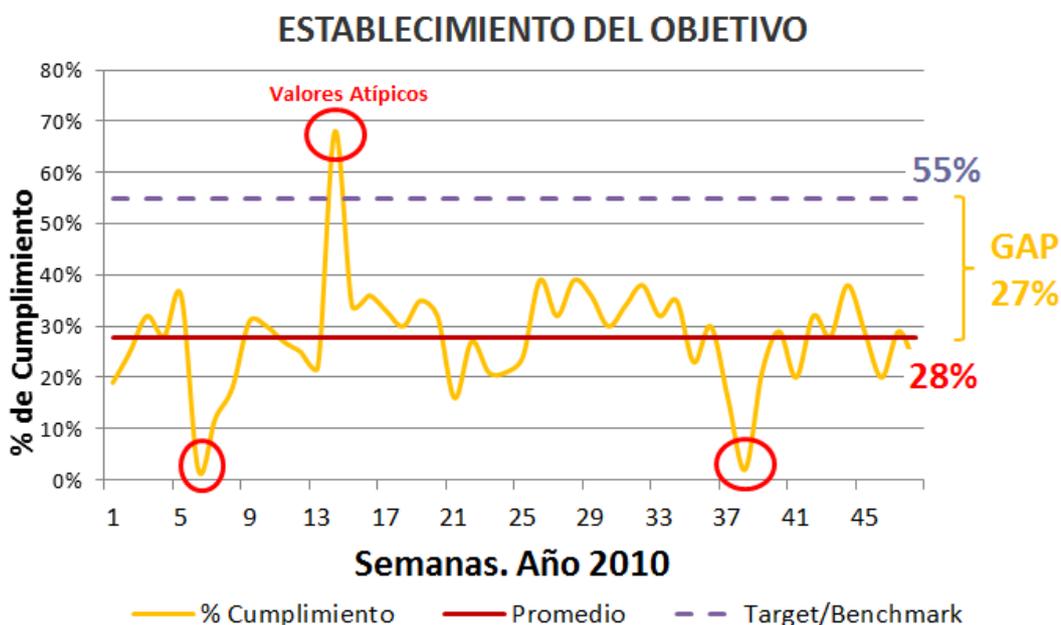
#### **3.1.1 Situación Actual**

En la empresa objeto de estudio se quiere mejorar el indicador de calidad Micro Levadura, éste ha tenido un cumplimiento de 28% al finalizar el 2010 y 19.8% hasta el mes de julio del año 2011. Los valores promedio del contenido de levadura en la muestra son de 50 UFC/100 ml. En algunos casos se cumple con la meta establecida, sin embargo los resultados obtenidos no son consistentes. Entre los intentos por mejorar el indicador de Micro Levadura en septiembre del 2010 se realizó la repotenciación del filtro cambiando la tecnología de las velas del

equipo, lo que ayudó en gran parte a reducir el problema pero sin alcanzar la meta planteada.

### 3.1.2 Objetivo del proyecto

Mejorar el desempeño del indicador de Micro Levadura en tanques de cerveza brillante aplicando la herramienta Seis Sigma como estrategia para alcanzar la meta propuesta del indicador, desde un 28% obtenido en el año 2010 hasta el 55% fijado como meta por la organización para el año 2011.



**Figura 3.1** Establecimiento del Objetivo  
Elaborado por: Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

Para el establecimiento de la meta se realizó un gráfico de corrida con los resultados semanales del año 2010 eliminando en primer lugar los puntos aberrantes que se generan por causas atípicas al proceso normal:

- Los valores más bajos son ocasionados por arranque de filtraciones seguidas sin haber realizado CIP por necesidad del cumplimiento de volúmenes programados
- Valores de cumplimiento por arriba del 60%, obedecen a temporadas bajas de producción donde existe la disponibilidad de tiempo para hacer limpiezas profundas y programadas.

Luego de haber eliminado los valores aberrantes se procede a determinar el GAP:

- **GAP** = Target - Promedio de la situación actual

$$\mathbf{GAP} = 55\% - 28\%$$

$$\mathbf{GAP} = 27\%$$

- **Objetivo** = Promedio + 60% GAP

$$\text{Objetivo} = 28\% + 0.6 \cdot (27\%)$$

$$\text{Objetivo} = 44\%$$

**Tabla 11. Determinación del Objetivo**

<b>Promedio de la situación actual</b>	28%
<b>Target</b>	55%
<b>GAP</b>	27%
<b>Objetivo (Promedio + 60% GAP)</b>	<b>44%</b>

**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

Una vez determinada la meta o el objetivo de 44% para el proyecto se puede observar que existe una diferencia de 11 puntos por debajo con respecto a la meta propuesta por la organización.

### 3.1.3 Alcance

El alcance del proyecto está definido en las siguientes áreas:

- El área de Cocina, que es donde se prepara el mosto y que posteriormente se enviará a fermentación
  
- El área de Bodega de Frío, es donde se dan los procesos de fermentación, maduración, manejo de levadura, filtración y los sistemas de CIP de tanques, líneas del proceso
  
- El área de Aseguramiento de Calidad, es la encargada de los análisis de validación, mediciones, así como también garantiza que dichas mediciones se realicen según los estándares de la organización

## DIAGRAMA SIPOC

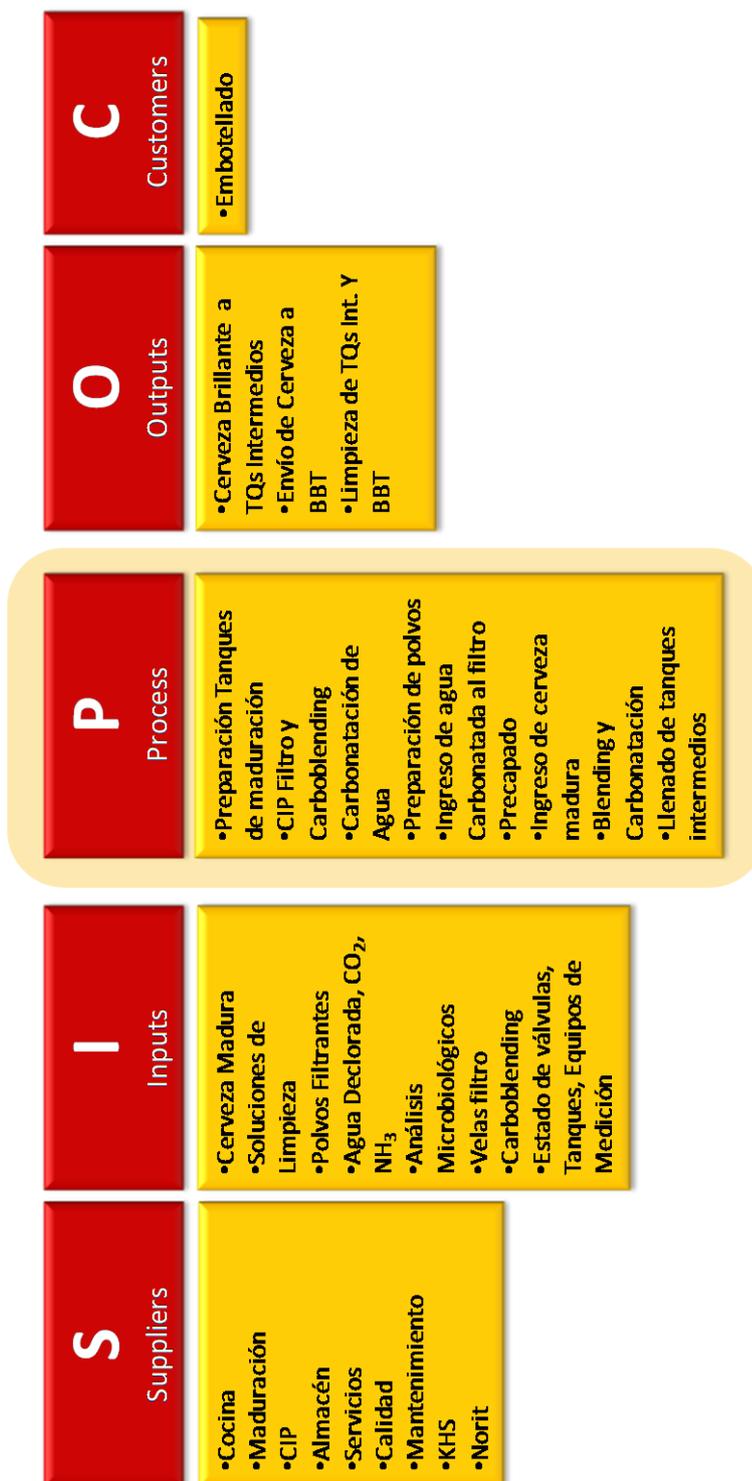


Figura 3.2 Diagrama SIPOC del Proyecto  
Elaborado por: Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

### 3.1.4 Métricas del proyecto

La Y principal o el métrico primario será el Indicador de **Micro Levadura**, además existen otros indicadores tales como Clarity y Foam que se establecerán como métricas secundarias.

Para el proyecto no se establecieron métricas con respecto a algún impacto económico ya que el mejoramiento del indicador de Micro Levadura impactará únicamente a la calidad del producto terminado.

### 3.2 Medir

Previo a las mediciones fue necesario conformar el equipo de trabajo y para lograrlo se consideró que los miembros del equipo tengan conocimientos del proceso y de seis sigma, acceso a la información, tiempo y la posibilidad de conseguir los recursos necesarios para la ejecución de las diferentes actividades quedando conformado de la siguiente manera:

**Tabla 12. Miembros del Equipo**

<b>PATROCINADOR</b>	Director de Manufactura
<b>TUTOR</b>	Gerente de Elaboración
<b>BLACK BELT</b>	Vicepresidente Manufactura
<b>EQUIPO DE MEJORA</b>	Líder de Producción
	Analista de Calidad
	Microbiologa
	Operador de Cocina
	Operador de CIP
	Operador Filtro
	Operador de BBT

**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

### 3.2.1 Macro Mapa del Proceso y Diagrama de Flujo del Proceso

Con la finalidad de identificar los componentes claves del proceso se procederá a realizar un bosquejo del “Macro Mapa” del proceso, el cual además de señalar la ubicación del proceso al que pertenece el proyecto, permitirá establecer el alcance del mismo.

Para su construcción únicamente han sido considerados los pasos relevantes, debido a que la característica principal de un “Macro Mapa” es tener una perspectiva del panorama general del proceso.

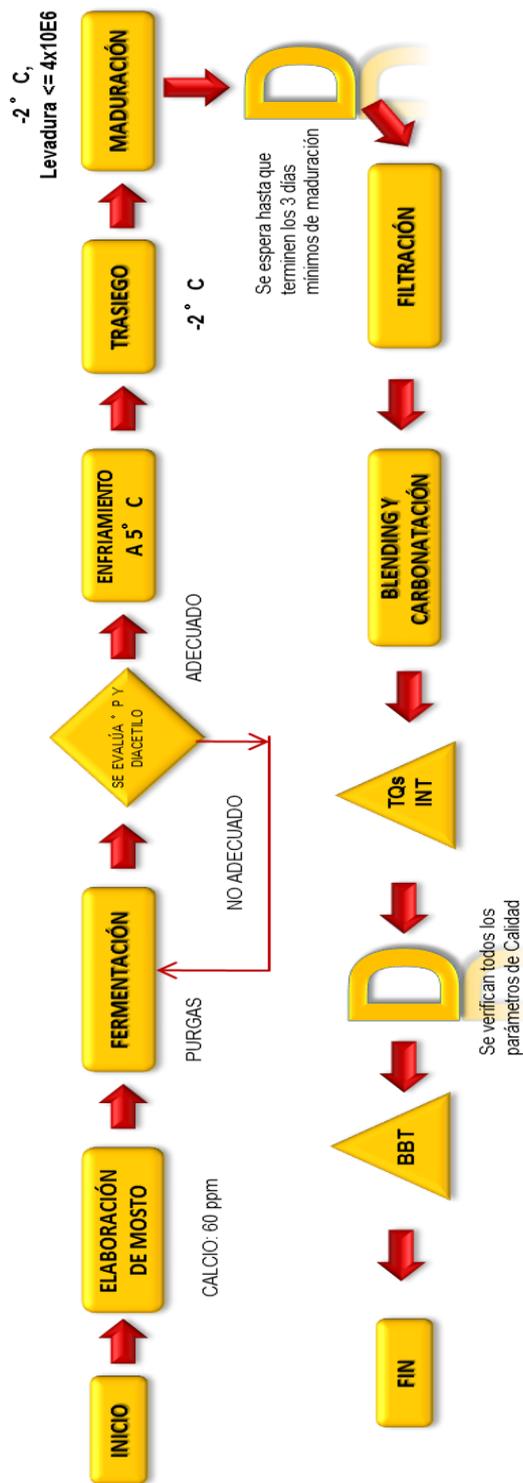


**Figura 3.3** Macro Mapa del Proceso  
**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

Como se puede observar en la Figura 3.3 el proceso inicia con la elaboración del mosto en el área de Cocimiento, dicho mosto es enviado a los tanques fermentadores ubicados en el área de Bodega de Frío para que inicie el proceso de fermentación que durará aproximadamente 7 días. Al final de la fermentación se obtiene cerveza verde que por medio del proceso de trasiego se enfriará desde 5°C a -2°C y pasará a los tanques de maduración donde la cerveza reposará durante 72 horas.

Una vez terminada la fase de maduración el ciclo continúa con la filtración de la cerveza que tiene como objetivo separar los sólidos en suspensión y las levaduras restantes obteniendo una cerveza brillante que será diluida con agua carbonatada al final de esta fase. Finalmente luego de filtrar la cerveza de forma continua se almacenará el producto en tanques llamados BBT.

Con el almacenamiento de la cerveza termina el proceso en el área de Elaboración e inicia el proceso de envasado a cargo del área de Embotellado, en esta etapa se llenan las botellas con el producto dependiendo de la presentación y marca para posteriormente pasar al proceso de pasteurización y etiquetado.



**Figura 3.4** Diagrama de Flujo del Proceso  
 Elaborado por: Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

### 3.2.2 Mapa de Proceso Detallado

Con la finalidad de examinar minuciosamente el proceso objeto de este estudio, se elaboró el Mapa de Proceso Detallado, describiendo cada una de las etapas del proceso con las entradas y salidas para determinar cuáles cumplen o no las especificaciones que se tienen como base para el desarrollo del proceso de elaboración de cerveza.

En la Tabla 13 se puede observar que en el proceso de Elaboración de Mosto no se cumple con el contenido de calcio en el mosto así como la frecuencia de análisis de la prueba del cono Imhoff. Además en la etapa de filtración no se cumple la especificación objeto de este estudio, como es el contaje de células de levadura que representa el indicador de Micro Levaduras. Posterior a la etapa de filtración se observan otros incumplimientos en los procesos de CIP de los equipos tales como frecuencia de limpieza, calidad microbiológica del agua de enjuague y efectividad de la limpieza.

Tabla 13. Mapa de Proceso Detallado

MAPA DE PROCESOS DETALLADO							
Paso del proceso	Entradas y Salidas	E/S	Especificaciones	C/NC	Equipo		
Elaboración de Mosto	Mosto frío	Salida	16 °P	C	Sala de Cocimiento		
			1000 HI	C			
			12,5 °C	C			
			calcio $\geq$ 60 ppm	NC			
	Kg de Malta, Arrocillo, Agua	Entrada	Cantidad de acuerdo a receta			C	
			Proteína	C			
			Longitud acróspiro	C			
Cumplimiento parámetros físico químicos Malta	Entrada	Fuerza diastásica		C			
		Cantidad de acuerdo a receta		C			
Fermentación	Cerveza verde	Salida	15 °C	C	TQ's Fermentadores FV y Uniprosos		
			Diacetilo $\leq$ 130 ppb	C			
	CO <sub>2</sub>	Salida	15600 Kq TQ's 4000 HI, 31200 Kq TQ's 8000 HI			C	
			100 HI TQ's 8000 HI, 50 HI TQ's 4000 HI			C	
Enfriamiento a 5°C	Cerveza verde	Salida	5 - 6 °C		TQ's Fermentadores FV y Uniprosos		
			NH <sub>3</sub> de servicios	Entrada			
Trasiego	Cerveza fría	Salida			(-)2 - 0 °C		Equipo de trasiego en Línea y Tanque madurador
			Hidrogel	Entrada	80 Kg/HI		
					NH <sub>3</sub> de servicios	Entrada	
Maduración	Cerveza Madura	Salida	(-)2 - 0 °C				Tanque Madurador
			NH <sub>3</sub> de servicios	Entrada	Contaje de células de levadura $\leq$ 2 millones/ml		
Filtración	Cerveza concentrada y filtrada	Salida			H90 $\leq$ 1 EBC; H45 $\leq$ 0,70	C	Filtro de Cerveza
			Contaje de células de levadura $\leq$ 3 UFC/ml		NC		
	Precapado del filtro	Entrada	Protocolo estandarizado, tiempos		C		
	CIP TQ Buffer y líneas ingreso de cerveza (sanitización)	Entrada	Después de cada filtración		NC		
Blending y Carbonatación	Cerveza diluida y brillante	Salida	EO, Temp, CO <sub>2</sub> , dentro de especificación		C		
			Contaje de células de levadura $\leq$ 3 UFC/ml		NC		
	CIP Shock Absorber (Sanitización)	Entrada	Después de cada filtración		NC		
	CIP Carbolblending (Sanitización)	Entrada	Después de cada filtración		NC		
Almacenamiento en Tanques Intermedios	Cerveza diluida y brillante	Salida	H90 $\leq$ 0,70 EBC; H45 $\leq$ 0,40; EO - 10 °P		C		
			Contaje de células $\leq$ 3 UFC/ml		NC		
	CIP Tanque Intermedio	Entrada	Contaje de células de levadura $\leq$ 3 UFC/ml		NC		
Almacenamiento en Tanques BBTs	Cerveza diluida y brillante	Salida	Temp: -1°C - 1°C		C		
			Contaje de células de levadura $\leq$ 3 UFC/ml		NC		
CIP	Análisis microbiológico de Aguas de enjuague	Salida	0 levaduras en aguas de enjuague en TQs, filtro, Shockabsorber		NC		
			Concentración de soluciones CIP		C		
	Inocuidad del agua de enjuague	Entrada	0 células de levadura		NC		
	Tiempo de recambio de soluciones	Entrada	1 vez por semana		C		

Elaborado por: Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

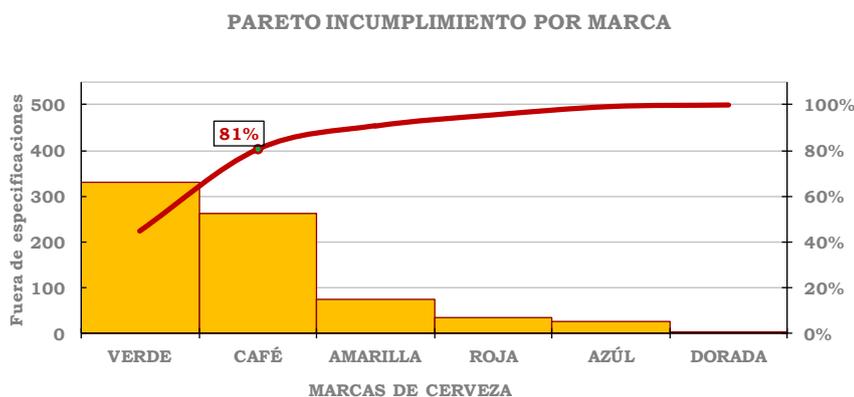
### 3.2.3 Diagrama de Pareto

Con el objetivo de concentrar el estudio en las marcas que más impactan al indicador Micro Levadura se realizó un “Diagrama de Pareto” considerando como variable las muestras que no cumplen con el conteo de levadura de 3 UFC/100ml establecido como especificación.

**Tabla 14. Porcentaje de frecuencia de incumplimiento por marca al indicador Micro Levadura para diagrama de Pareto**

	<b>Muestras fuera de especificación</b>	<b>% PARTICIPACIÓN</b>	<b>% ACUMULADO</b>
<b>VERDE</b>	330	<b>45%</b>	45%
<b>CAFÉ</b>	263	<b>36%</b>	81%
<b>AMARILLA</b>	75	<b>10%</b>	91%
<b>ROJA</b>	36	<b>5%</b>	96%
<b>AZÚL</b>	27	<b>4%</b>	99%
<b>DORADA</b>	5	<b>1%</b>	100%
<b>TOTAL</b>	<b>736</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014



**Figura 3.5** Diagrama de Pareto de incumplimiento por marca al indicador Micro Levadura. **Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

Como se puede observar en la Figura 3.5 la marca VERDE es la que tiene el mayor porcentaje de incumplimiento y junto con la marca CAFÉ representan el 81% de afectación al indicador de Micro Levadura. El porcentaje de incumplimiento está dado en base al volumen de producción por lo que si se quiere mejorar el indicador para alcanzar el objetivo del 44% es necesario enfocar el análisis de proyecto en las dos marcas.

### 3.2.4 Plan de ejecución del proyecto

Una vez definidas las marcas en las que mayormente se presentan novedades se realizó un plan de ejecución de actividades partiendo de los incumplimientos a las

especificaciones que se tienen en cada una de las etapas del proceso que fueron detalladas en la Tabla 13.

En el **APÉNDICE 01** se presenta el **PLAN DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO**.

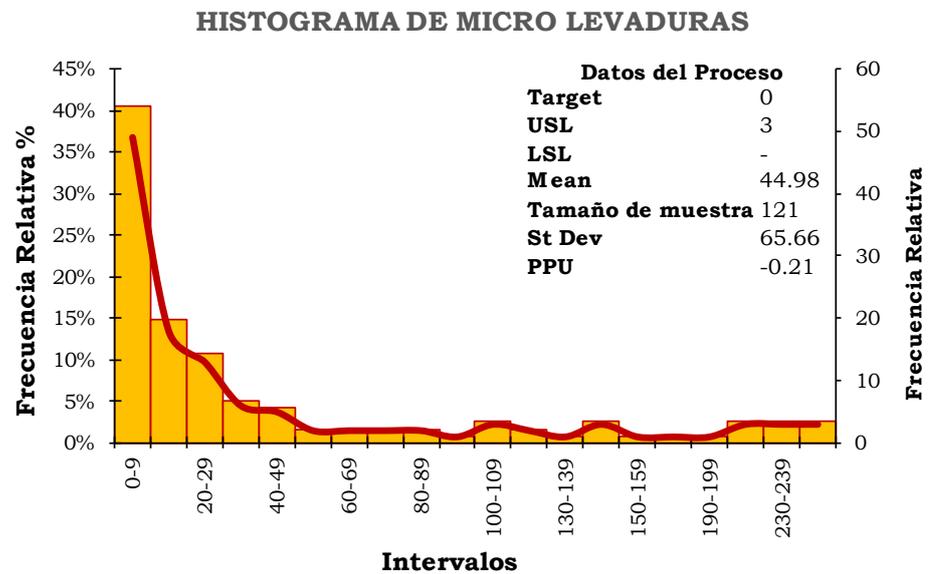
### **3.2.5 Capacidad de proceso actual**

Según la metodología Seis Sigma se procedió con la recolección de datos para evaluar cómo está el proceso actual en el sistema de filtración por ser la etapa más crítica ya que es aquí donde se retienen los sólidos y la levadura contenida en la cerveza madura.

Inicialmente se tomó una serie de datos con la finalidad de determinar la capacidad a largo plazo en todo el sistema de filtración, es decir que los datos analizados fueron tomados del histórico de un mes de producción.

Como el proceso tiene solamente un límite de especificación superior, se calculó el índice de capacidad como PPU, para el cual se estimó la variación total del proceso tomando la

desviación estándar de todas las lecturas individuales obtenidas a partir del gráfico de control.



**Figura 3.6** Histograma del Sistema de Filtración  
Elaborado por: Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

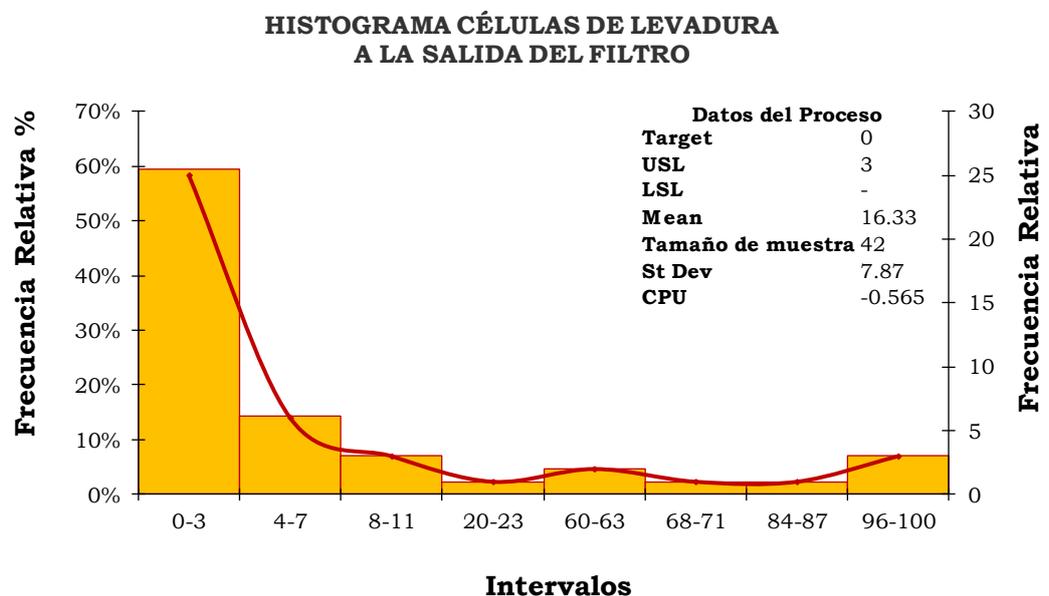
A partir del histograma se observó que más del 50% de los resultados tienen valores de contajes de levadura muy alejados de la meta establecida, y de acuerdo al análisis realizado de capacidad se obtuvo un valor de **PPU = - 0.21** lo que indica que la media del proceso está fuera de las especificaciones.

En la tabla 15 se muestra la categorización del índice de capacidad.

**Tabla 15. Categorización del Valor de  $C_p$  (8)**

$C_p > 2$	Calidad Seis Sigma
$1.33 < C_p < 2$	Proceso adecuado o proceso capaz
$1 < C_p < 1.33$	Parcialmente adecuado
$0.67 < C_p < 1$	Análisis muy necesario
$C_p < 0.67$	No adecuado

Además, con el objetivo de tener información específica ya no solo del proceso de filtración si no del filtro de cerveza se procedió a tomar una serie de muestras cada 200 hl durante un ciclo de filtración que ayudó a determinar el desempeño del equipo sin participación de variables externas a este proceso.



**Figura 3.7** Histograma de células de levadura a la salida del filtro de cerveza. **Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

Con los resultados expuestos en el histograma de la Figura 3.7 que representa el comportamiento del proceso a corto plazo, se observa que existe un cumplimiento cercano al 60% con valores dentro de especificaciones obteniendo **CPU = -0.565** por lo que el proceso aún es bastante deficiente. El índice de capacidad se calculó con un subgrupo de tamaño 1 trabajando con el gráfico de control X-Rm de datos individuales y rangos móviles.

### 3.3 Analizar

Una vez que se tiene caracterizado el proceso en cuanto a las entradas y salidas, las variables que no cumplen las especificaciones, las marcas de cerveza que mayor impacto tienen sobre el indicador y el conocimiento de la capacidad del proceso actual, se da inicio a la etapa de Análisis cuyo objetivo será establecer la relación que exista entre las variable de entrada y salida del proceso.

### 3.3.1 Causas Potenciales de Variación

En primera instancia para determinar las causas potenciales de variación se realiza un análisis del Mapa de proceso detallado de la Tabla 13, en el que se puede observar que en varias etapas del proceso no se cumplen las condiciones establecidas del proceso entre las que se destacan:

- CIP en el Filtro y Periferias
- Proceso de Filtración

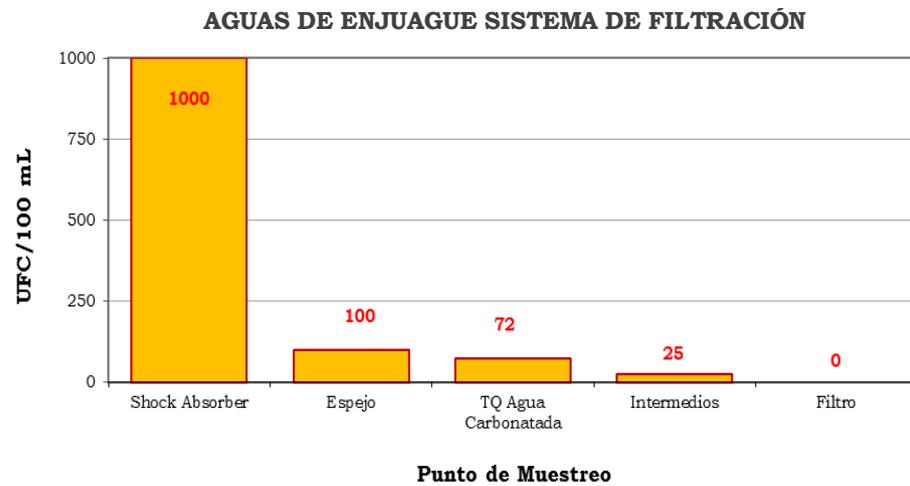
#### CIP en el Filtro y Periferias

En primer lugar se evaluó la eficiencia de este sistema ya que debemos asegurar que previo a la filtración de la cerveza las superficies deben estar libres de células de levadura para evitar contaminación cruzada.

**Tabla 16. Microbiología de aguas de enjuague**

N°	Punto de Muestreo	N° Análisis	N° Fuera de especific.	Contaje más alto UFC/100 mL	Frecuencia
1	Shock Absorber	5	5	1000	100%
2	Espejo	4	4	100	100%
3	TQ Agua Carbonatada	8	1	72	13%
4	Intermedios	6	1	25	17%
5	Filtro	3	0	0	0%

**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014



**Figura 3.8** Contenido de levadura en aguas de enjuague después del CIP. **Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

Según la Figura 3.8 se puede determinar que a pesar de haber realizado las limpiezas de equipos y periferias del sistema de filtración el mayor punto de contaminación con levadura es el Shock Absorber y aún cuando en el filtro de cerveza si fue efectivo el CIP existe el riesgo de contaminación posterior a la filtración de la cerveza.

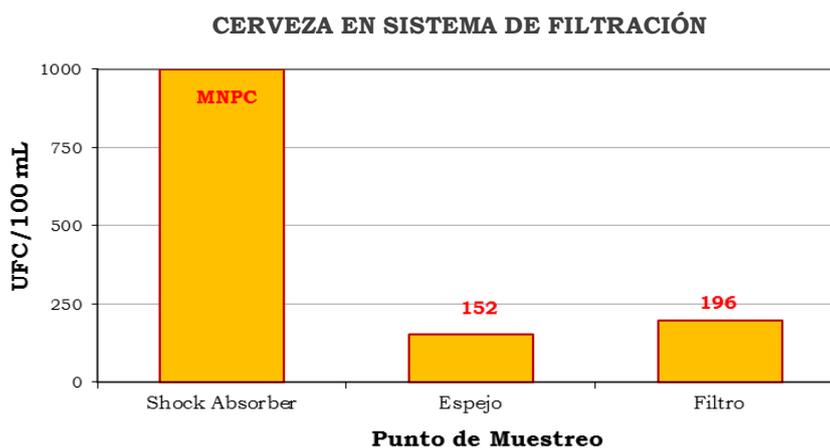
Por esta razón se preparó una filtración después de haber terminado la limpieza del filtro y sus periferias para determinar la afectación directa que se tiene este incumplimiento sobre la cerveza brillante. Para ello se tomaron muestras para la

siembra microbiológica de la cerveza filtrada en varios de los puntos donde antes se había evaluado el CIP de los equipos, obteniendo los resultados presentados en la Tabla 17.

**Tabla 17. Microbiología de cerveza brillante después del CIP de filtro y periferias**

N°	Punto de Muestreo	N° Análisis	N° Fuera de especf.	Contaje más alto UFC/100 mL	Frecuencia
1	Shock Absorber	6	4	1000	67%
3	Espejo	7	3	152	43%
2	Filtro	12	2	196	17%

Elaborado por: Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014



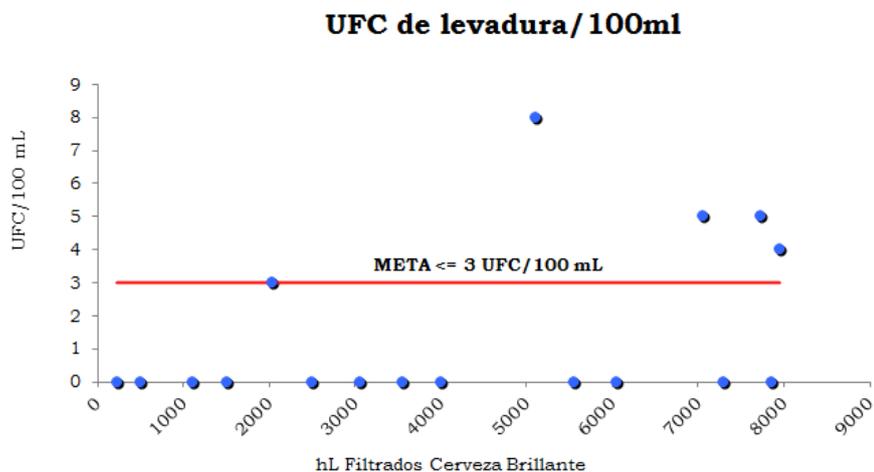
**Figura 3.9** Contenido de levadura en cerveza brillante en diferentes puntos de muestreo. **Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

Se puede notar que los malos resultados microbiológicos obtenidos de una limpieza se reflejan posteriormente afectando la calidad de la cerveza filtrada por contaminación cruzada en el equipo "Shock Absorber" del sistema de filtración.

### **Filtración de Cerveza**

Con los requisitos establecidos en el mapa de proceso en cuanto al CIP del Filtro y Periferias y cumplimiento del protocolo de filtración establecido, se procedió a tomar muestras para siembra microbiológica a la salida del filtro.

En la Figura 3.10 que representa los resultados de la siembra microbiológica se puede observar que existe un paso considerable de la levadura a medida que avanza el proceso de filtración, lo que indica que hay un problema en el protocolo de filtración o en el equipo propiamente dicho.



HL Filtrados	5100	7050	7730	7950
Shock Absorber	8	5	5	4
Espejo	---	57	150	65
Tanque de agua carbonatada	0	2	0	1

**Figura 3.10** UFC de levadura/100ml durante la filtración.  
**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

### 3.3.2 Diagrama de Ishikawa

Como estrategia para identificar las causas principales que podrían estar afectando el indicador de Micro Levaduras se realizó un diagrama de Ishikawa, para lo cual se estableció una reunión entre el equipo del proyecto y la parte operativa para que compartieran su experiencia y las posibles causas que afectan la operación mediante una lluvia de ideas. Los resultados se presentan en la Figura 3.11.

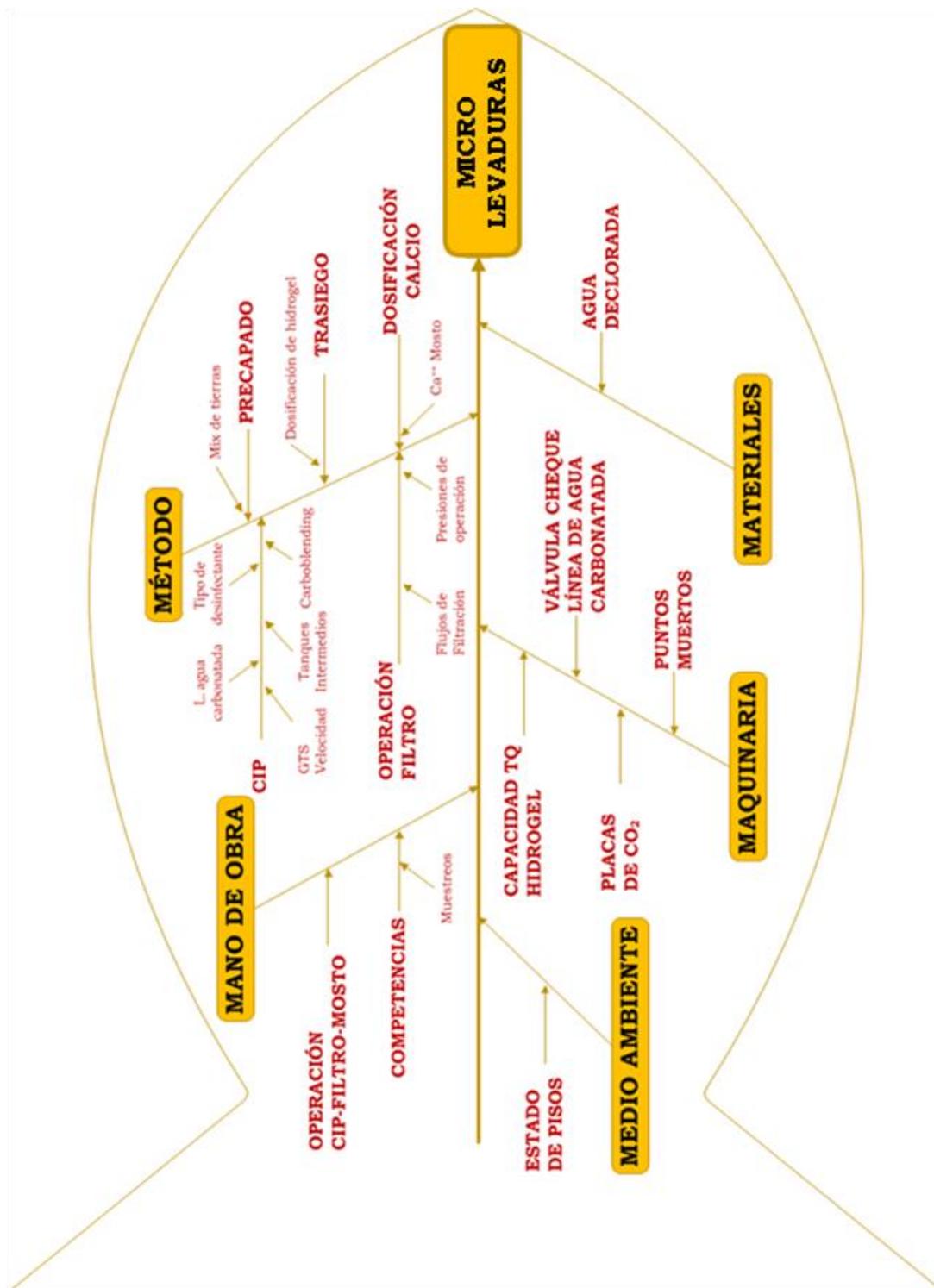


Figura 3.11 Diagrama de Ishikawa del proyecto.  
Elaborado por: Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

### 3.3.3 Matriz causa y efecto

Utilizando las ideas y causas generadas en el Diagrama de Ishikawa se elaboró la matriz causa y efecto, cuyo propósito fundamental fue cuantificar las entradas claves del proceso que deben ser analizadas con el fin de mejorar las salidas claves del proceso. Para esto se entregó a los operadores, líderes y analista del proceso el formato de la Tabla 18 para que en base a experiencia e información de resultados históricos se determine cuáles eran las relaciones que tenían las x's o entradas sobre las Y's o salidas planteadas.

Posteriormente, una vez identificadas las actividades críticas del proceso se elaboró el AMEF para lo cual se listaron los posibles modos de fallas potenciales y se les asignó a cada uno el nivel de: Severidad, Ocurrencia y Detección para finalmente determinar el NPR (Ver figura 3.12)

$$\mathbf{NPR = SEV \times OCU \times DET}$$

Tabla 18. Matriz Causa y Efecto

Blanco	Ninguna Correlacion	Variables de Salida Y's											
1	Correlec. Muy Remota	TQ's BBT's Contaje de células ≤ 3UFC		Cerveza Filtrada Contaje de células 3UFC		Agua de Enjuague 0 UFC Contaje de células		Cerveza Madura ≤ 2 UFC Contaje de células		Nivel de Ca en mosto ≥ 60 ppm		TOTAL	
3	Correlec. Moderada	VERDE	CAFÉ	VERDE	CAFÉ	VERDE	CAFÉ	VERDE	CAFÉ	VERDE	CAFÉ		
9	Correlec. Fuerte	10		9		8		7		5			
Variable de Entrada X's	Valoraciones												
	<b>Elaboración del mosto</b>											0	
	Kg. De malta, Arrocillo y agua									9	9	90	
	Cumplimiento parámetros Físico Químico Malta									3	3	30	
	Kg de SO4Ca, ClCa en Ollas									1	9	50	
	<b>Fermentación</b>											0	
	hL de levadura dosificada											0	
	NH3 de servicios suministrados											0	
	<b>Enfriamiento a 5°C</b>											0	
	NH3 de servicios suministrados											0	
	<b>Trasiego</b>											0	
	Hidrogel disificado				2	1			9	9			153
	Dosificación homogénea de Hidrogel				2	1			9	9			153
	NH3 de servicios suministrados								9	9			126
	<b>Maduración</b>												0
	NH3 de servicios suministrados								3	3			42
	<b>Filtración</b>												0
	Precapado del Filtro				9	9							162
	Protocolo de arranque de Filtración				9	9							162
	Flujo de Filtración				9	9							162
	Adición Cargas de Mantenimiento de Polvo				9	9							162
	Control de Presión en Filtración				9	9							162
	Protocolo de Bajada de Filtración				9	9							162
	<b>Blending y Carbonatación</b>												0
	CIP Shock Absorber y Carboblending (Sanitización)	9	9										180
	<b>Almacenamiento en TQ's Intermedios</b>												0
	CIP TQ's Intermedios	9	9										180
<b>Almacenamiento en BBT's</b>												0	
CIP a BBT'S	9	9										180	
<b>CIP</b>												0	
Inocuidad del agua de Enjuague	9	9				9	9					324	
Concentración de Soluciones de CIP	9	9										180	
Tiempo de Recambio de Soluciones	9	9										180	

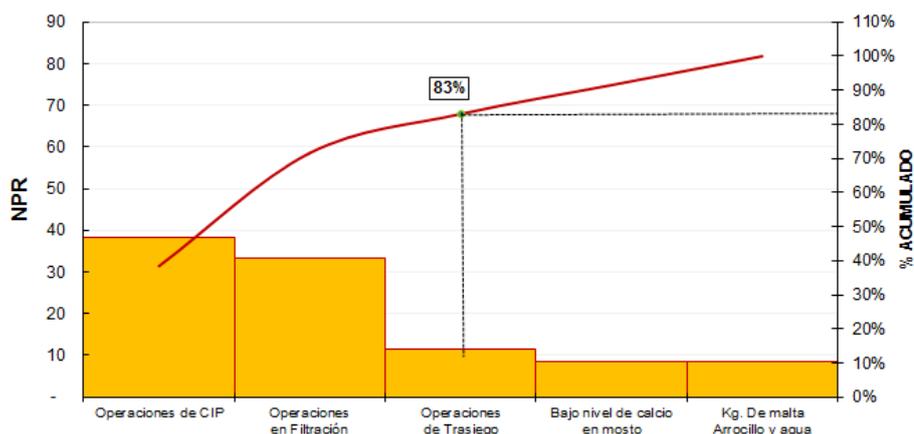
Elaborado por: Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

Etapa del Proceso	Modo de Falla Potencial	Efecto Potencial de Falla	SEV	Causas Potenciales/Mecanismo de Falla	OC U	Controles de Proceso Actuales	DET	NPR	TOTAL POR OPERACIÓN
TRASIEGO	Dosificación irregular de hidrogel durante el trasiego	Mala sedimentación de solidos en suspensión: proteínas y levaduras	9	Falla mecánica de bomba dosificadora	2	Mantenimiento Preventivo	3	54	108
				Falla electrónica de medidor de flujo	2	Mantenimiento Preventivo	3	54	
	Poca cantidad de hidrogel dosificado	Mala sedimentación de solidos en suspensión: proteínas y levaduras	9	Cantidad mal calculada por receta	8	No hay control	7	504	612
				Mal pesado del material por falla operativa	2	Competencias operativas	6	108	
	NH3 de servicios suministrados	Mala sedimentación de las proteínas inestables al frío:	7	Falla mecánica sistema de enfriamiento	2	Mantenimiento Preventivo	2	28	56
				Falla electrónica del sistema de enfriamiento	2	Mantenimiento Preventivo	2	28	
FILTRACIÓN	Precapado del Filtro	mala distribución del polvo en el lecho filtrante	8	mala homogenización de mix de polvos	2	No hay alarmas por falla en el flujo	8	128	576
				Mix incorrecto en precapa	7	No hay control preventivo	8	448	
	Flujo de Filtración	subidas de presión	2	Mala calibración de Bombas al ingreso y salida del filtro	8	No hay control preventivo	7	112	220
				golpes de presión	9	Control del equilibrio de presiones del sistema	6	108	
	Adición Cargas de Mantenimiento de Polvo	mala distribución del polvo en el lecho filtrante	8	Dilución del mix de polvos	6	No hay control preventivo	8	384	864
				mal funcionamiento del agitador	2	Mantenimiento Preventivo	2	32	
	Lecho filtrante muy permeable	Lecho filtrante muy permeable	7	Mix incorrecto en precapa	8	No hay control preventivo	8	448	592
				Control de Presión en Filtración	8	falla en manómetros	4	Mantenimiento Preventivo	
	Golpes de presión	Daño en el lecho filtrante	8	falla operativa	5	No hay control preventivo	10	400	592
				CIP Shock Absorber y Carboblending (Sanitización)	Contaminación cruzada	8	Puntos muertos	8	
Concentración de solución desinfectante	4	Análisis de soluciones	2				64		
Baja acción mecánica	2	Medidor de flujo	5				80		
CIP TQ's Intermedios	Contaminación cruzada	8	Puntos muertos	8	No hay control preventivo	7	448	592	
			Concentración de solución desinfectante	2	Análisis de soluciones	5	80		
			Baja acción mecánica	4	Medidor de flujo	2	64		
CIP a BBT'S	Contaminación cruzada	8	Puntos muertos	8	No hay control preventivo	8	512	656	
			Concentración de solución desinfectante	2	Análisis de soluciones	5	80		
			Baja acción mecánica	4	Medidor de flujo	2	64		
Inocuidad del agua de Enjuague	Contaminación al final del CIP	8	Contaminación en el área de Utilis en tuberías	2	No hay control preventivo	8	128	704	
Contaminación Microbiológica de soluciones de CIP	Contaminación de superficies de equipos y tanques	8	Frecuencia de cambio de soluciones	8	Control de siembra microbiológica	9	576		
COCINA	Bajo nivel de calcio en mosto	Baja floculación de levadura	9	Succión del calcio por sistema de captación de polvo	8	Análisis de calcio en mosto	8	576	576
	Kg. De malta, Arrocillo y agua	Contenido FAN	9	Mal balance en Receta	8	Análisis de FAN en mosto	8	576	576

**Figura 3.12 AMEF del proyecto.**  
**Elaborado por: Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014**

### 3.3.4 Determinación de causas raíces

Finalmente, en base a los resultados obtenidos en el AMEF, en esta sección se procede a seleccionar aquellas variables que tengan mayor impacto sobre la variable respuesta y de esta forma se elaboró un Pareto con las etapas del proceso que tengan el mayor NPR (Ver la Figura 3.13)



**Figura 3.13** Diagrama de Pareto de los KPIVs  
**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

Según lo determinado por el AMEF las etapas con mayor impacto sobre el indicador son:

- Variable  $X_1$ : Presencia de Puntos Muertos

- Variable  $X_2$ : Efectividad de la solución desinfectante en CIP a Tanques Intermedios
- Variable  $X_3$ : Flujo de Filtración
- Variable  $X_4$ : Proceso de Finalización de Filtración: flujo y presión
- Variable  $X_5$ : Mix de Polvos Filtrantes
- Variable  $X_6$ : Concentración de Hidrogel
- Variable  $X_7$ : Temperatura de Maduración

#### **Variable $X_1$ : Presencia de Puntos Muertos**

- ✓ Línea de ingreso de cerveza madura tiene un tramo de 40 cm aproximadamente que al momento de realizar el CIP de la línea no tiene acción mecánica y presenta acumulación de las soluciones de limpieza.



**Figura 3.14** Punto Muerto: Línea de cerveza madura

- ✓ En la línea de cerveza filtrada la carbonatación se la hace con una placa porosa que al momento de no tener presión provoca que la cerveza retorne por la línea de CO<sub>2</sub> provocando contaminación.



**Figura 3.15** Punto Muerto: Carbonatación de cerveza

- ✓ Al ingreso de cerveza al UBT existe una matriz de tuberías que permiten la distribución de la cerveza madura dependiendo del tanque de procedencia. Como parte de la ampliación del sistema de filtración existen trabajos inconclusos provocando la formación de puntos muertos causantes de contaminación aún después de haber realizado el CIP.



**Figura 3.16** Punto Muerto: Matriz de cerveza madura

**Variable  $X_2$ : Efectividad de la solución desinfectante en CIP a Tanques Intermedios**

El proceso de limpieza de los Tanques Intermedios que se detalla en la Tabla 19 también fue evaluado, en especial la etapa de desinfección con ACID BRITE ya que una mala sanitización podría incurrir en una contaminación de la cerveza filtrada con levadura aun cuando las filtraciones hayan sido eficientes en la retención de células de levadura.

Tabla 19. Etapas de CIP a Tanques Intermedios

<b>CIP COMPLETO A INTERMEDIOS</b>	
<b>FASE</b>	<b>TIEMPO (MIN)</b>
Despresurización	30
Pausa	3
Aireación	60
Pausa	10
Enjuague	10
Pausa	4
Soda	60
Pausa	3
Enjuague	10
Pausa y Test	3
Ácido	60
Pausa	2
Enjuague	10
Pausa y Test	2
<b>Acid Brite</b>	<b>60</b>
<b>Pausa</b>	<b>3</b>
<b>Enjuague</b>	<b>10</b>
Pausa y Test	3
<b>TOTAL</b>	<b>310</b>

**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

Para determinar el desempeño microbiológico de la limpieza de estos tanques se tomaron muestras para siembra microbiológica de las aguas de enjuague de cada CIP de los Intermedios con los que se pudo observar que la limpieza de los

tanques no era 100% efectiva tal como se muestra en la Tabla 20, siendo sin duda un punto de contaminación de la cerveza filtrada.

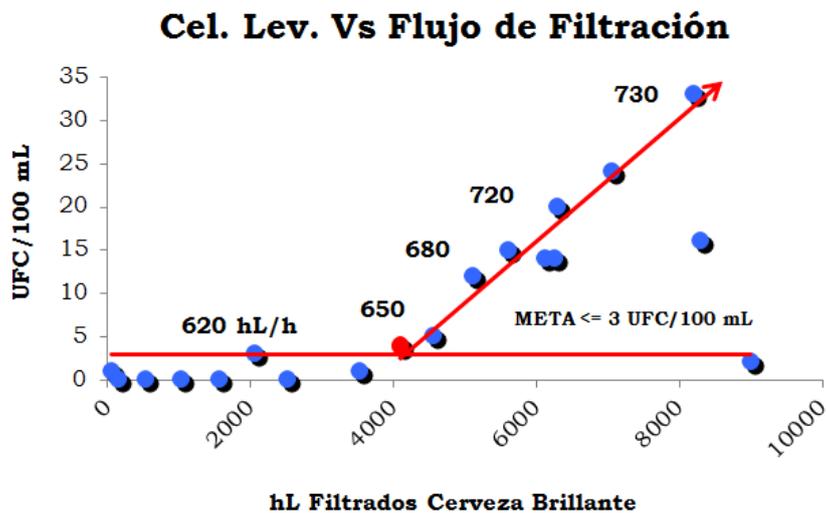
**Tabla 20. Resultados microbiológicos de CIP a Tanques Intermedios**

<b>INTERMEDIO</b>	<b>AGAR MOSTO (&lt; 3 UFC/100 ml)</b>	<b>NBB-A (&lt; 0 UFC/100 ml)</b>
1	0	0
2	<b>3</b>	0
3	<b>16</b>	0
4	0	0
5	0	0

**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

### **Variable X<sub>3</sub>: Flujo en Filtración**

Para determinar el flujo óptimo de filtración fue necesario evaluar hasta qué flujo de trabajo el sistema filtración mantiene su eficiencia en cuanto a la retención de levadura, por esta razón se hizo la prueba de subir 10 hl al flujo por cada 8 minutos desde 620 hl/h hasta 740 hl/h.



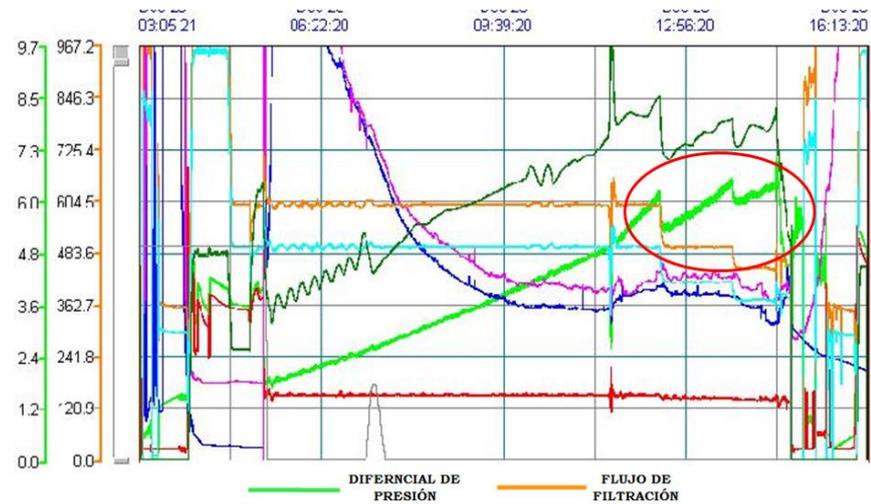
**Figura 3.17** Células de Levadura versus Flujo de Filtración.  
**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

En la Figura 3.17 se muestra el comportamiento del proceso de filtración a medida que se incrementa el flujo de filtración, notando que al superar los 650 hl/h comienza a pasar levadura a través del lecho filtrante.

**Variable X<sub>4</sub>: Proceso de Finalización de Filtración: flujo y presión**

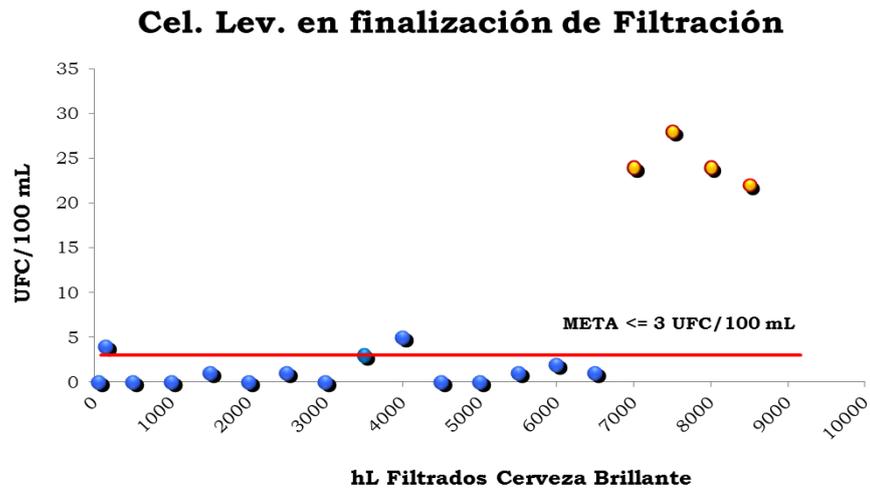
En la Figura 3.18 se puede observar que el flujo de filtración se baja a razón de 100 hl cada 50 minutos como parte del procedimiento del fin de ciclo de filtración, teniendo como

impacto la caída de presión dentro del filtro cada vez que se baja el flujo.



**Figura 3.18** Gráficas de variables de filtración. **Fuente:** Cervecería Nacional, Software Wonderware, 2012

Para determinar si existe alguna afectación en esta operación se tomaron varias muestras para siembra microbiológicas a diferentes tiempos durante un ciclo de filtración.



**Figura 3.19** Células de levadura a la salida del filtro en proceso de finalización del ciclo. **Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

En la Figura 3.19 se puede observar cómo a partir de los 7,000 hL que inicia el proceso de finalización de filtración las caídas de presión por reducción del flujo de filtración afectan la retención de levadura del lecho filtrante aún cuando la operación se la realiza según el protocolo de filtración.

#### **Variable X<sub>5</sub>: Mix de Polvos Filtrantes**

Para evaluar el mix de polvos filtrantes que se usa actualmente (Tabla 21) se preparó una filtración y se tomaron muestras a la salida del filtro para hacer siembras microbiológicas de la

cerveza y determinar de esta forma la efectividad de retención de levaduras que tenga este lecho filtrante.

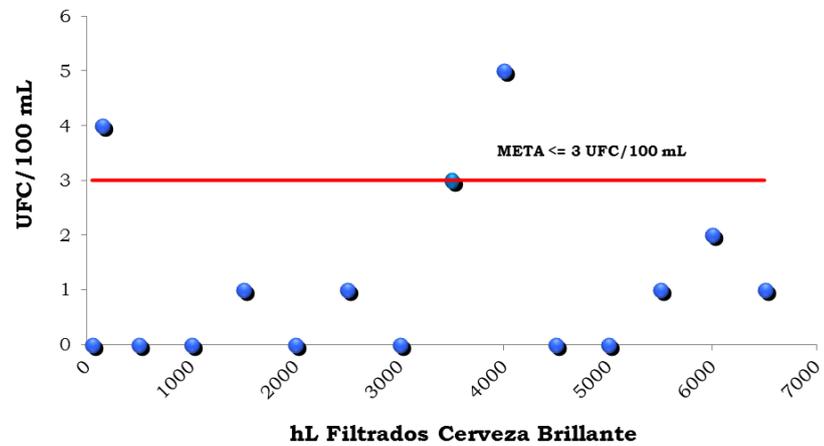
**Tabla 21. Mix actual de polvos filtrantes**

<b>Lecho Filtrante</b>	
<b>Precapa 1</b>	4 Hyflo
	1 Harbolite
<b>Precapa 2</b>	5 Estándar
	3 Hyflo
<b>Carga de Mantenimiento</b>	4 Estándar
	4 Hyflo

**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

Según la Figura 3.20 se puede observar que existe paso de levadura desde el arranque del ciclo.

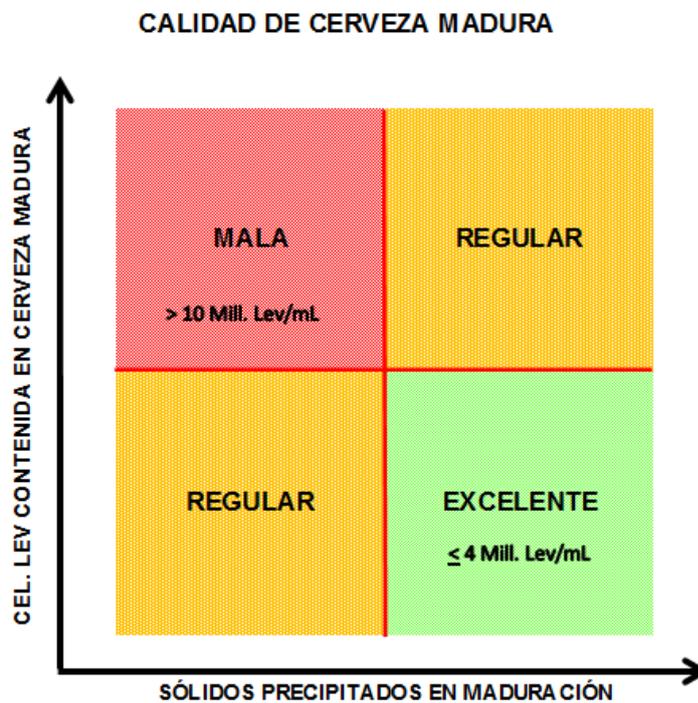
### Evaluación del Mix Actual de Polvos Filtrantes



**Figura 3.20** Evaluación del mix actual de polvos filtrantes.  
**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

### Variable $X_6$ : Concentración de hidrogel en trasiego

La efectividad de retención de levadura en la filtración va a depender mucho de la calidad de la cerveza madura, que va a ser determinada por la cantidad de sólidos precipitados y por las células de levadura que contenga la cerveza al final del periodo de maduración, según como se explica en la Figura 3.21.



**Figura 3.21** Diagrama de Calidad de Cerveza Madura.  
**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

Por esta razón se midió el comportamiento en varios tanques que se trasegaron con una concentración de 90 gr/hl de hidrogel, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 22.

**Tabla 22 Proceso de maduración con 90 g/hl de hidrogel**

ENTRADAS		SALIDAS	
HIDROGEL (g/hl)	TEMPERATURA (°C)	TRUB (hl/hl)	CÉLULAS DE LEVADURA
90	-0.2	0.03150	<b>12</b>
90	-0.3	0.03150	<b>13</b>
90	0	0.03200	<b>11</b>
90	-0.2	0.03225	<b>14</b>
90	-0.5	0.03175	<b>11</b>
90	-0.3	0.03200	<b>10</b>
90	-0.5	0.03140	<b>15</b>

**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

#### **Variable X<sub>7</sub>: Temperatura de maduración**

El proceso de maduración se debe dar a temperaturas por debajo de  $-1.5^{\circ}\text{C}$  para ayudar a la precipitación de células de levadura y de proteínas de alto peso molecular que son inestables al frío (26).

Al observar las temperaturas de maduración de la Tabla 22, no se cumple esta condición ya que se está madurando a temperaturas por arriba de  $-0.5^{\circ}\text{C}$ .

### **3.4 Implementar**

En este apartado, mediante la Tabla 23 a modo de resumen se detallan las variables que afectan directamente al indicador de Micro Levadura junto con las soluciones que se obtuvieron de la reunión con un equipo multidisciplinario conformada por: Gerente de Elaboración, Jefe de Proyectos, Jefe Mecánico, Jefe eléctrico, Líderes de Elaboración, Analistas de Calidad y Operadores de los diferentes procesos que se deben implementar.

**Tabla 23. Resumen de las x's y las soluciones**

<b>X's</b>	<b>SOLUCIÓN</b>
<b>1.- Presencia de Puntos Muertos</b>	Corregir líneas mal instaladas en la línea de cerveza madura. Cambiar el sistema de carbonatación por uno automático con control de apertura de válvulas. Culminar proyecto incompleto de la ampliación del filtro para la corregir los puntos muertos en la Matriz de Cerveza Madura
<b>2.- Solución desinfectante en CIP de Tanques Intermedios</b>	Evaluar otro aditivo que permita la desinfección de los tanques sin necesidad de aumentar el tiempo de recirculación
<b>3.- Flujo de Filtración</b>	Determinar el flujo óptimo de Filtración
<b>4.- Proceso de Finalización de Filtración. Flujo y Presión</b>	Determinar cuál es la mejor forma de finalizar la filtración sin que se presenten caídas de presión
<b>5.- Mix de Polvos Filtrantes</b>	Establecer que mix de polvo cumple de mejor manera la retención de levadura durante la filtración.
<b>6.- Concentración de Hidrogel</b>	Determinar el índice de hidrogel que se debe usar para mejorar la calidad de la cerveza madura sin que se afecte la cantidad presupuestada para este material.
<b>7.- Temperatura de Maduración</b>	Determinar la temperatura ideal que permita la mayor precipitación de levaduras y de TRUB o sólidos.

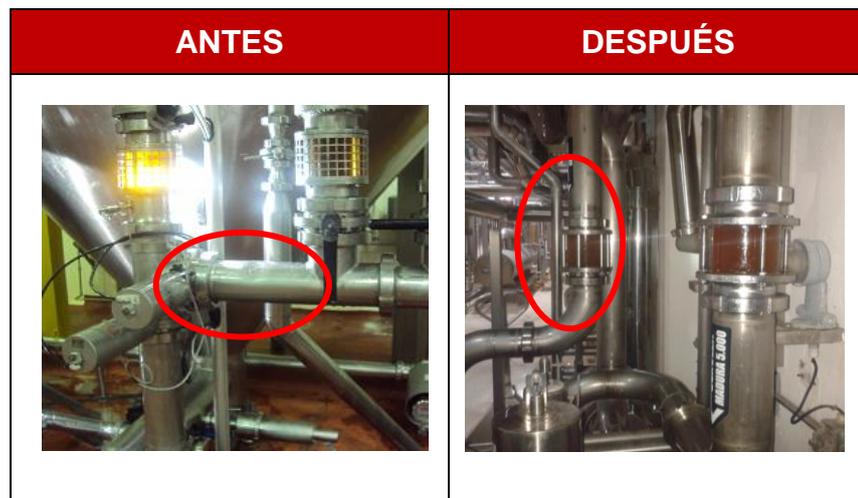
**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

### **1. Eliminación de Puntos Muertos**

Se eliminó aquellos puntos muertos que se habían detectado en el filtro y sus periferias tales como:

- ✓ Diseño de línea de cerveza madura.

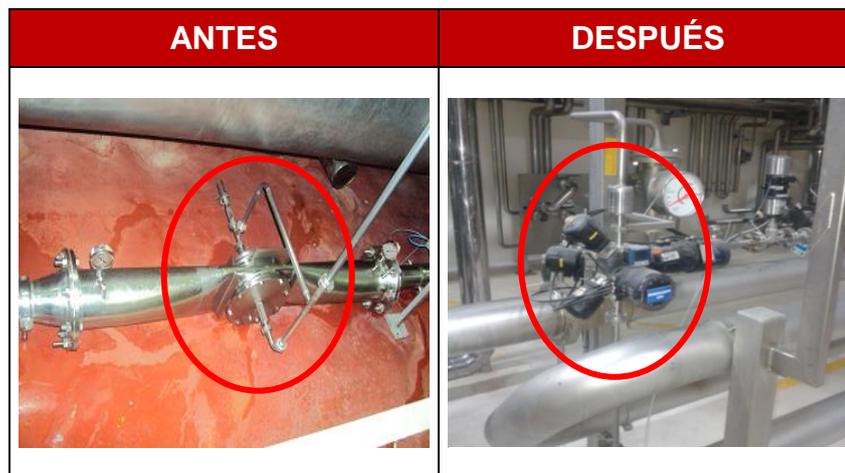
Se cambió diseño de ingreso de cerveza madura al Filtro de Cerveza.



**Figura 3.22** Línea de Cerveza Madura

- ✓ Carbonatación de Cerveza

Se eliminó la carbonatación con placas porosas y se reemplazó por un sistema automático de apertura de válvulas al momento de iniciar la carbonatación evitando el retorno de cerveza hacia la línea de CO<sub>2</sub>.



**Figura 3.23** Sistema de Carbonatación

✓ Matriz de Cerveza Madura

Se terminan los trabajos pendientes del proyecto de ampliación del filtro de cerveza por lo que se habilitaron las líneas que formaban puntos muertos.



**Figura 3.24** Matriz de Cerveza Madura

## 2. Efectividad de la Solución desinfectante en CIP de Tanques Intermedios

Dado que el CIP de Intermedios con Acid Brite no es efectivo para la eliminación de células de levadura en la superficie interna del tanque se ejecutaron pruebas para implementar el CIP completo con DIVOSAN OSA-N que es un compuesto formulado con ácido nítrico, ácidos orgánicos y surfactantes aniónicos, que van a permitir retirar materia inorgánica y desinfectar la superficie del tanque.

**Tabla 24. CIP completo a Intermedios con DIVOSAN OSA-N**

<b>CIP COMPLETO A INTERMEDIOS</b>	
<b>FASE</b>	<b>TIEMPO (MIN)</b>
Despresurización	30
Pausa	3
Aireación	60
Pausa	10
Enjuague	10
Pausa	4
Soda	60
Pausa	3
Enjuague	10
Pausa y Test	3
<b>DIVOSAN OSAN</b>	60
Pausa	3
Enjuague	10
Pausa y Test	3
<b>TOTAL</b>	<b>240</b>

**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

Con la implementación de la nueva receta de CIP se obtuvo una sanitización completa de los tanques tal como se indica en la Tabla 25.

**Tabla 25. Microbiología con nuevo CIP a tanques Intermedios**

<b>INTERMEDIO</b>	<b>AGAR MOSTO (&lt; 3 UFC/100 mL)</b>	<b>NBB-A (&lt;0 UFC/100mL)</b>
1	0	0
2	0	0
4	1	0
3	0	0
5	0	0
2	0	0
4	0	0

**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

Adicional, como sinergia al mejoramiento del CIP se pudo optimizar el 22.5% del tiempo total de limpieza de un tanque lo que implica mayor disponibilidad del sistema para ejecutar más limpieza a los equipos.

**Tabla 26. Comparativo CIP con Acid Brite y DIVOSAN OSA-N**

CIP INTERMEDIO	TIEMPO (MIN)
CIP ACID BRITE	310
CIP DIVOSAN OSA-N	240
AHORRO	70

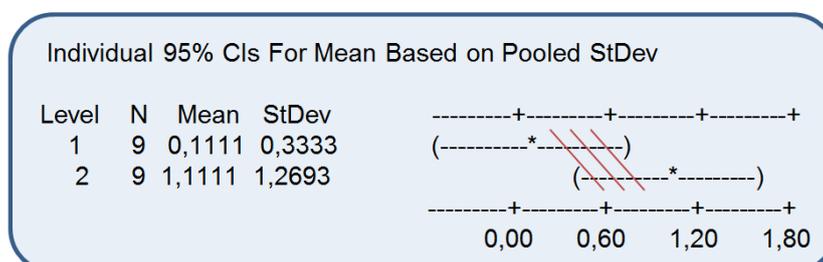
**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

### 3. Mejoramiento en el Flujo de Filtración.

Con el objetivo de determinar el flujo óptimo en el que se debe operar el sistema de filtración se realizó un análisis de dependencia entre las pruebas realizadas:

Filtración 1: 620 hl/h

Filtración 2: 700 hl/h

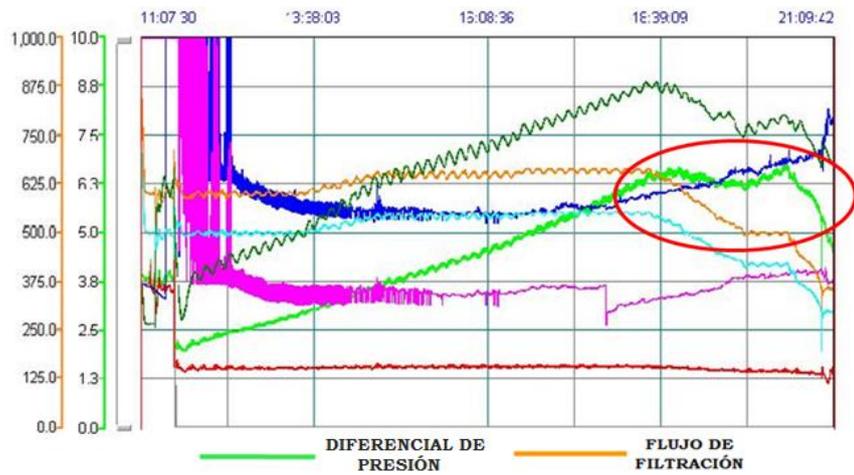


**Figura 3.25** Dependencias de flujos de filtración. **Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

En la Figura 3.25 se observa que los intervalos de confianza de ambos flujos se cruzan por lo que se puede decir que no existe diferencia significativa, sin embargo, se considera como mejor opción para tener la menor afectación al proceso por el paso de levadura en filtración al flujo de 620 hl/h ya que es el intervalo que contiene al cero.

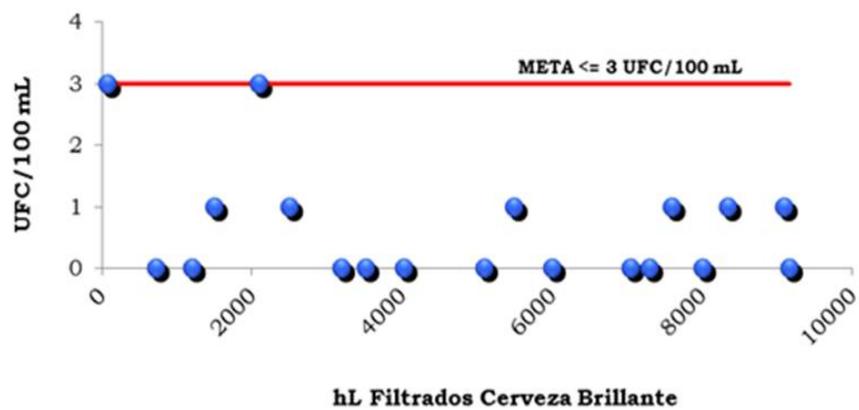
#### **4. Proceso de finalización de filtración: flujo y presión**

Sabiendo que el descenso precipitado del flujo de filtración provoca caídas de presión al interior del filtro se realizó una prueba para determinar el comportamiento del proceso medido en retención de levadura al controlar el descenso de forma gradual del flujo, para lo cual, en la fase de finalización del ciclo de filtración el flujo se bajó 10 hl cada 10 minutos, evitando la caída de presión interna del filtro. Este comportamiento se observa en la Figura 3.26.



**Figura 3.26** Gráficas de variables de filtración con reducción gradual del flujo. **Fuente:** Cervecería Nacional, Software Wonderware, 2012

En la Figura 3.27 se puede observar que los resultados de las siembras microbiológicas a lo largo de la filtración se mantienen dentro de especificaciones, lo que demuestra que existe un mejoramiento considerable si se compara con el proceso actual que provoca caídas de presión en el interior del filtro.



**Figura 3.27** Prueba descenso gradual del flujo de filtración. **Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

## 5. Mix de Polvos Filtrantes

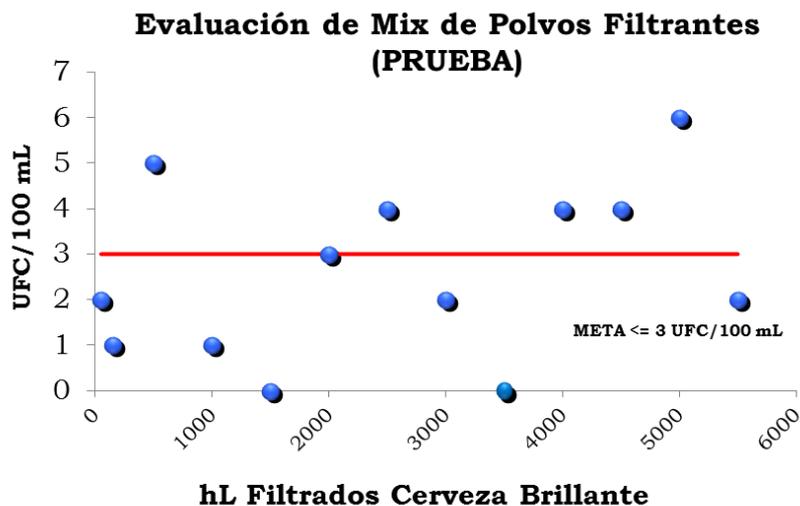
Dado que la retención de levadura va a depender directamente de la permeabilidad del lecho filtrante, se preparó una filtración formando una base más resistente y menos permeable, esto se logró dosificando polvos con micraje más fino tanto en la preparación de la precapa así como en las cargas de mantenimiento. En la Tabla 27 se detalla la receta del mix actual y de prueba.

**Tabla 27. Comparación de Mix de Polvos**

Lecho Filtrante	Mix Actual	Prueba 1
Precapa 1	4 Hyflo	4 Hyflo
	1 Harbolite	1 Harbolite
Precapa 2	5 Estandar	6 Estandar
	3 Hyflo	2 Hyflo
Caraga de Mantenimiento	4 Estandar	6 Estandar
	4 Hyflo	6 Hyflo

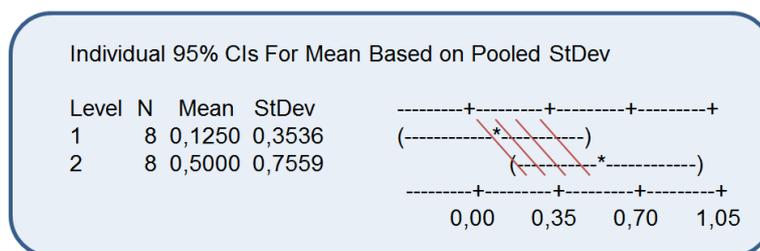
**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

En la Figura 3.28 se muestran que también existe paso de levadura aún cuando se hizo menos permeable el lecho filtrante.



**Figura 3.28** Evaluación de mix de polvos filtrantes. **Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

Para determinar las dependencias entre diferentes mix de polvos se tomaron los valores obtenidos en las siembras microbiológicas de las filtraciones realizadas con el mix actual y el mix de prueba.



**Figura 3.29** Dependencias de Mix de Polvos Filtrantes. **Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

Al revisar los intervalos de confianza entre las dos opciones no se observan diferencias significativas, pero se determina como mejor

opción el mix actual ya que es el intervalo que contiene al cero. Al intentar hacer menos permeable el lecho filtrante los resultados no fueron buenos ya que permite mayor paso de levadura comparado al mix de polvos que se tenía.

## **6. Concentración de Hidrogel.**

Dado que la calidad de la cerveza madura va a depender de la cantidad células de levadura contenida en la cerveza y de la cantidad de Trub que se pueda precipitar en el periodo de maduración, fue necesario evaluar el resultado de este proceso cambiando la concentración de hidrogel y controlando la temperatura de maduración de la cerveza obteniendo los resultados de la Tabla 28.

En primer lugar se determinó mediante un análisis de regresión la influencia del hidrogel sobre la cantidad de sólidos o también llamado “Trub” que se logra precipitar durante el periodo de maduración.

**Tabla 28. Pruebas en Maduración**

ENTRADAS		SALIDAS	
HIDROGEL (g/hl)	TEMPERATURA (°C)	TRUB (hl/hl)	CÉLULAS DE LEVADURA
100	-1.5	0.03400	5
110	-1.5	0.03625	3
100	-1.8	0.03350	4
110	-1.4	0.03640	3
100	-1.2	0.03375	4
110	-1	0.03595	5
100	-1.2	0.03350	3
100	-2	0.03325	2
110	-0.8	0.03590	6
100	-0.9	0.03410	6
110	-1	0.03620	6
90	-0.2	0.03150	12
90	-0.3	0.03150	13
90	0	0.03200	11
90	-0.2	0.03225	14
90	-0.5	0.03175	11
90	-0.3	0.03200	10
110	-1.6	0.03635	3
90	-0.5	0.03140	15
110	-1.1	0.03625	6
100	-1.2	0.03375	5

**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

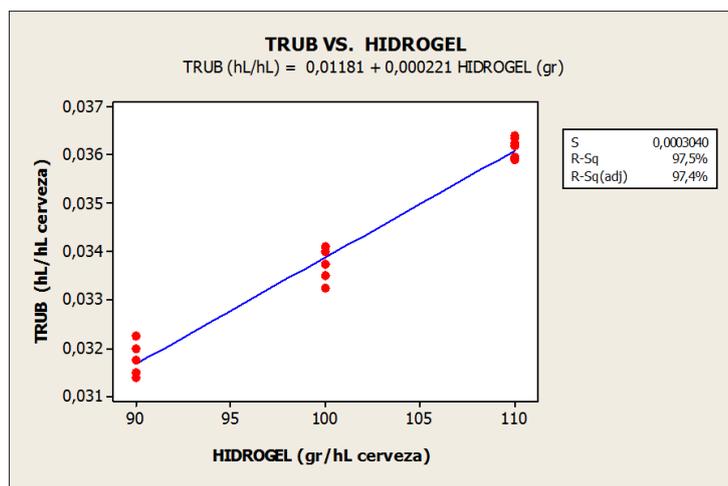
### **Análisis de Regresión: Trub versus Hidrogel**

La ecuación de la regresión muestra que por cada gramo de hidrogel que se dosifique en el trasiego corresponderá un incremento de

0.000221 hl de TRUB precipitados y que según  $R^2$ , el 97.5% de la variabilidad del TRUB precipitado se explica por la cantidad de hidrogel dosificado en la cerveza.

$$\text{TRUB} = 0.01181 + 0.000221 \text{ HIDROGEL}$$

$$S = 0.000304004 \quad R^2 = 97.5\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 97.4\%$$



**Figura 3.30** Diagrama de Dispersión y Recta de Regresión Trub versus Hidrogel. **Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

Considerando el modelo del análisis de regresión lineal de la influencia del hidrogel sobre la cantidad de trub precipitado se hizo el ejercicio de cuál sería el resultado si se utilizan tres diferentes dosificaciones de hidrogel, tal como se indica en la Tabla 29.

**Tabla 29. Precipitación de Trub según cantidad de hidrogel**

<b>TRUB = 0.01181 + 0.000221 HIDROGEL</b>	
<b>HIDROGEL (g/hl)</b>	<b>TRUB (hl)</b>
90	127
100	136
<b>110</b>	<b>144</b>

**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

El índice de uso de hidrogel ideal es de 110 g/hl para obtener la mayor precipitación de sólidos, pero este valor supera la cantidad presupuestada para este material razón por la cual el índice de 100 g/hl se toma como la opción más viable. También fue necesario determinar cómo influye el hidrogel en la precipitación de levaduras durante el periodo de maduración, obteniendo los siguientes resultados:

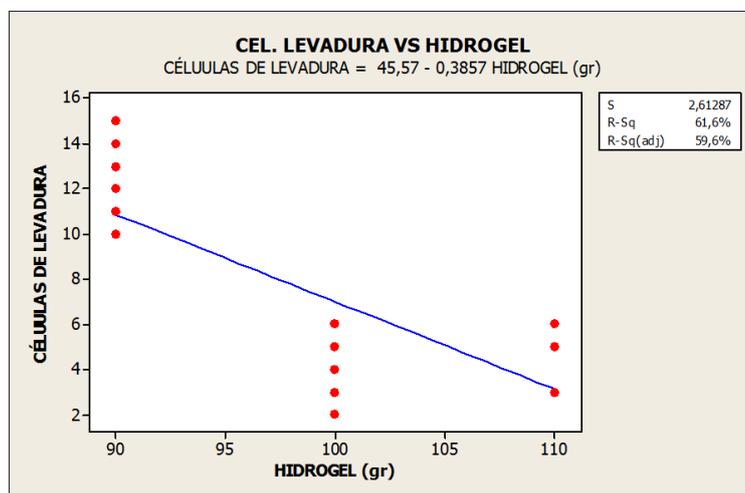
#### **Análisis de Regresión: Células de levadura versus Hidrogel**

La ecuación de la regresión muestra que por cada gramo de hidrogel que se dosifique en el trasiego hay una reducción de 0.3857 células de levadura y que según  $R^2$ , solo el 61.6% de la variabilidad de las células de levadura contenidas en la cerveza madura se explica por

la cantidad de hidrogel dosificado en la cerveza razón por la cual no puede ser considerado este modelo como válido.

$$\text{Células de levadura} = 45.57 - 0.3857 \text{ HIDROGEL}$$

$$S = 2.61287 \quad R^2 = 61.6\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 59.6\%$$



**Figura 3.31** Diagrama de Dispersión y Recta de Regresión de Células de levadura versus Hidrogel. **Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

## 7. Temperatura de Maduración

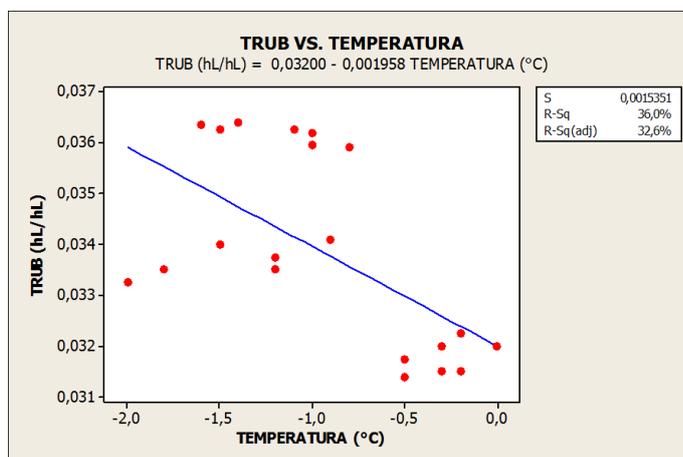
También fue necesario determinar la influencia de la temperatura sobre la cantidad de sólidos suspendidos o trub así como sobre las células de levadura en la cerveza al final del periodo de maduración.

### Análisis de Regresión: Trub versus Temperatura

La ecuación de la Regresión muestra que por cada °C que se disminuya a la temperatura en el periodo de maduración corresponderá una reducción de 0.001958 hl de trub y que según el  $R^2$ , solo el 36% del trub precipitado durante la maduración se explica por la reducción de temperatura en el proceso razón por la cual este modelo tampoco puede ser considerado como válido.

$$\text{TRUB (hl/hl)} = 0.03200 - 0.001958 \text{ TEMPERATURA}$$

$$S = 0.00153514 \quad R^2 = 36.0\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 32.6\%$$



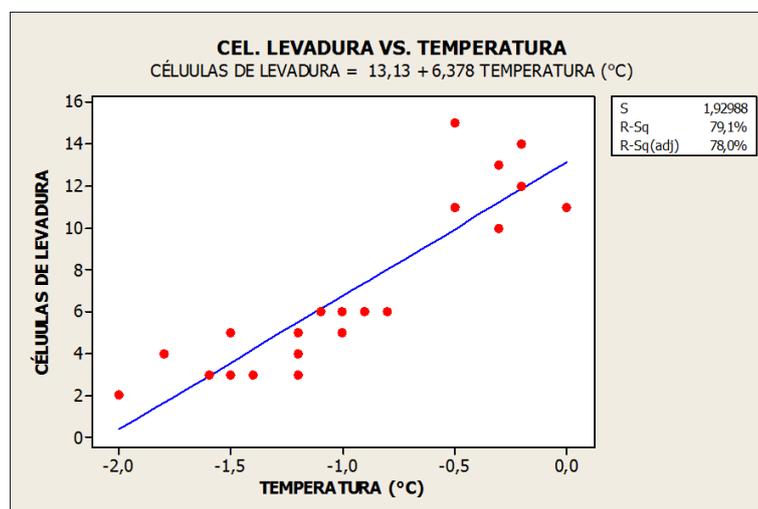
**Figura 3.32** Diagrama de Dispersión y Recta de Regresión Trub versus Temperatura. **Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

### Análisis de Regresión: Células de levadura versus Temperatura

La Ecuación muestra que por cada °C que se disminuya a la temperatura en el periodo de maduración corresponderá una reducción de 6.378 células de levadura en la cerveza al final de la maduración y que según el  $R^2$ , el 79.1% de la levadura retirada de la cerveza en la maduración se explica por la reducción de temperatura en el proceso, siendo válido este modelo.

$$\text{Células de levadura} = 13.13 + 6.378 \text{ TEMPERATURA}$$

$$S = 1.92988 \quad R^2 = 79.1\% \quad R\text{-Sq(aj)} = 78.0\%$$



**Figura 3.33** Diagrama de Dispersión y Recta de Regresión Células de levadura versus Temperatura. **Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

Según este modelo existe una relación válida en la que a menor temperatura se haga el proceso de maduración mejor será la calidad de la cerveza en cuanto la cantidad de levadura presente en la cerveza previo a la filtración.

**Tabla 30. Células de levadura en cerveza madura según temperatura de maduración**

<b>CÉLULAS DE LEVADURA = 13.13 + 6.378 TEMPERATURA</b>	
<b>TEMPERATURA °C</b>	<b>CONTAJE (millones de células/ml)</b>
-1	7
-1.5	4
<b>-2</b>	<b>0</b>

**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

Tal como se observa en la Tabla 30 se obtendrá los resultados esperados realizando la maduración a una temperatura de  $-1.5^{\circ}\text{C}$  e incluso a  $-2^{\circ}\text{C}$ , con estos resultados se puede decir que no es necesario dosificar 110 g/hl de hidrogel para obtener la menor cantidad de levadura en la cerveza al final de maduración y que será suficiente usar 100 g/hl de hidrogel combinado con temperaturas menor a  $-1.5^{\circ}\text{C}$ .

### **3.4.1 Establecimiento de Mejoras**

En la Tabla 31 se resume cada una de las variables que influyeron sobre indicador de Micro Levaduras así como los cambios que se implementaron para lograr el mejoramiento del indicador.

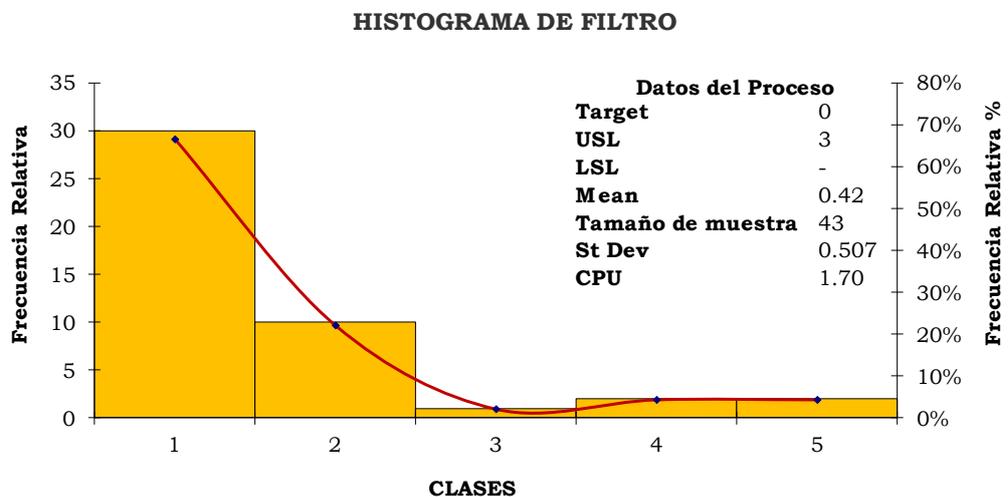
**Tabla 31. Establecimiento de mejoras**

<b>X's</b>	<b>MEJORA</b>
<b>1.- Eliminación de Puntos Muertos.</b>	Se eliminaron todos los puntos muertos que provocaban contaminación de la cerveza con levadura.
<b>2.- Efectividad de la solución desinfectante en CIP de Tanques Intermedios</b>	Se eliminó el uso de Ácido Nítrico y de Acid Brite en el CIP de los BBT y se los reemplazó con Divosan OSA-N que es un compuesto formulado con Ácido Nítrico y ácidos orgánicos y surfactantes aniónicos que va a permitir eliminar material inorgánico y desinfectar la superficie del tanque en un solo paso
<b>3.- Cambio del Flujo de Filtración.</b>	Se determinó que el flujo o caudal de trabajo más óptimo para el proceso de Filtración es de 620 hL/h
<b>4.- Control de Flujo y Presión al finalizar Filtración.</b>	Se corrigieron las caídas de presión que se daban en la etapa de finalización del ciclo de filtración, implementando una rampa de descenso de flujo que consiste en reducir en caudal a razón de 10hL cada 10 minutos.
<b>5.- Mix de Polvos Filtrantes.</b>	Se estableció que el mejor mix de polvos filtrantes es: Precapa 1: 4 Hyflo + 1 Harbolite . Precapa 2: 3 Hyflo + 5 Estándar. Carga de mantenimiento: 4 estándar + 4 Hyflo.
<b>6.- Establecimiento de la mejor concentración de Hidrogel.</b>	El mejor índice de dosificación de hidrogel es de 110gr/hL, pero finalmente por limitaciones de presupuesto del material se dejó establecido que el trasiego debe realizarse dosificando 100 gr/hL de hidrogel.
<b>7.- Establecimiento de la mejor temperatura de Maduración.</b>	Se estableció que la mejor temperatura para maduración se da a -1,5°C, teniendo al final cerveza con un contenido menor a 4 Mill. Cel./ml. Controlar este parámetro garantizó que se pueda trabajar con 100 gr/hL de hidrogel y no con 110 gr/hL obteniendo los mismos resultados

**Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

## Capacidad de máquina

Una vez puesta en marcha las mejoras antes indicadas se calculó la capacidad de máquina para determinar si el proceso era capaz de cumplir con el objetivo propuesto



**Figura 3.34** Capacidad de Máquina mejorada. **Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

Según se puede observar en la Figura 3.34 el índice de capacidad mejoró, ya que al inicio del proyecto, el filtro de cerveza tenía un  $CPU = -0.565$  lo que indicaba que el proceso no era adecuado pero en la actualidad se alcanza un  $CPU = 1.70$  lo que lo ubica como un proceso adecuado según la Tabla

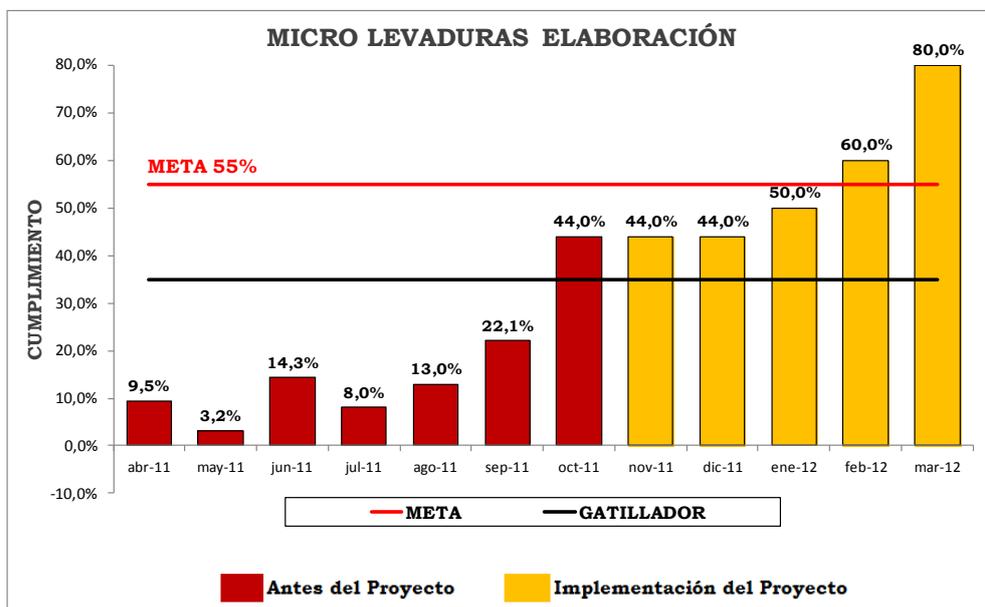
32 que muestra el criterio de categorización de los valores de índice de capacidad.

**Tabla 32. Valor de índice  $C_m$  (o  $C_{mk}$ )**

$C_m > 2$	Calidad Seis Sigma
$1.33 < C_m < 2$	Proceso adecuado o proceso capaz
$1 < C_m < 1.33$	Parcialmente adecuado
$0.67 < C_m < 1$	Análisis muy necesario
$C_m < 0.67$	No adecuado

### 3.4.2 Mejoramiento del Indicador

Adicional al mejoramiento de la capacidad de máquina se mejoró también de forma considerable y sostenida el indicador de Micro Levaduras alcanzando en marzo, el último mes del proyecto una calificación o cumplimiento de 80%, desde 44% que se tenía en el mes de noviembre cuando inició el proyecto de Mejoramiento del Indicador.



**Figura 3.35** Gráfico de barras del cumplimiento del indicador de micro levaduras. **Elaborado por:** Viviana Cruz – Erick Cabrera, 2014

### 3.5 Controlar

#### 3.5.1 Diseño e implementación del plan de control

Con el fin de asegurar que se cumplan y mantengan las buenas prácticas que se implementaron en el proyecto, se generó una serie de documentos, procedimientos y registros a ser llenados por la operación en cada uno de los turnos y que se detallan a continuación:

- Estandarización del Proceso de Filtración: **APÉNDICE 02**

Adicional al instructivo de trabajo del proceso de Filtración se generó un documento en el que se detalla paso a paso cada una de las mejoras y actividades que se deben realizar para alcanzar el cumplimiento del indicador. Este documento queda en el lugar de operación y servirá de ayuda para el operador y líderes de la operación.

- Estandarización del Proceso de Trasiego: **APÉNDICE 03**

De la misma forma fue necesario dejar un documento que sea para el control de la operación sobre todas las nuevas prácticas en la operación del trasiego. Este documento también queda en la carpeta de Instructivos de trabajo del área.

- Formato de Control de CIP en BBT: **TABLA 33**

Dado que el CIP es un factor clave en el cumplimiento del Indicador de Micro Levaduras, se implementó un registro para llevar el histórico de la limpieza de cada uno de los

tanques y de las líneas de bombeo de cerveza y de las líneas de envasado. Los responsables del llenado de este registro son los operadores de área de Bodega de Frío de Envase, que deben llenarlo cada vez que se realiza la limpieza de un equipo en cada uno de los turnos.



- Formato de Control de CIP en Tanques Intermedios y Líneas:

**TABLA 34**

En el área del filtro de cerveza también fue necesario implementar el registro de control de CIP para tanques intermedios, periferias y sistema de filtración. Los responsables del llenado de este registro son los operadores del filtro de cerveza que deben hacer el seguimiento turno a turno verificando el cumplimiento de la limpieza de los tanques.y con la implementación de este registro se ha logrado un mayor control incentivando el empoderamiento de los operadores.



- **Control de Operación en Filtración. Figura 3.36**

Adicional al registro del control de CIP para tanques intermedios, los operadores del filtro también serán responsables de llenar una pizarra con la información de lo que ocurre turno a turno en dicha operación. La información de este tablero es:

- ✓ Tipo de Pre-capas de polvo que se esté utilizando.
- ✓ Especificaciones Físico – Químicas de cada una de las marcas de cerveza.
- ✓ Hectolitros producidos en una filtración
- ✓ Responsables del armado y arranque de cada filtración.
- ✓ Observaciones presentadas durante el turno.
- ✓ Gráfico de Barras con el Cumplimiento del Indicador de Micro Levaduras.



### 3.5.2 Diseño e implementación del plan de reacción

Ver **APÉNDICE 04**

En caso de existir una desviación es importante actuar de manera sistemática siguiendo pasos de forma cronológica y ordenada. Por tal razón se implementó un procedimiento para verificar paso a paso cada una de las variables que podrían ser las causantes que provocan una determinada desviación o incumplimiento. Este Procedimiento incluye:

- Plan de Reacción **APÉNDICE 05**

Para detectar el punto específico del incumplimiento se elaboró el formato numerando las causas potenciales en cada una de las áreas del proceso de elaboración de cerveza.

- Formato de 6 pasos para la solución efectiva de problemas **APÉNDICE 06**

Una vez que se haya encontrado la falla que provocó la desviación es importante usar este formato para determinar la causa raíz del problema.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se revisará el resultado obtenido en cada etapa de la metodología y tendrá como objetivo dar soluciones enfocadas a eliminar los factores que afectan al indicador de Micro Levadura con la finalidad de mejorar el desempeño en el ranking mundial de las cervecerías que conforman el grupo.

### **Conclusiones**

- **Definir**

Dentro de esta etapa se lograron los siguientes resultados:

- ✓ Se establecieron los objetivos a través de datos de Benchmarking

<b>Promedio de la situación actual</b>	28%
<b>Target</b>	55%
<b>GAP</b>	27%
<b>Objetivo (Promedio + 60% GAP)</b>	<b>44%</b>

**Figura 4.1** Determinación del objetivo

- ✓ El alcance del proyecto fue definido utilizando el diagrama SIPOC
- ✓ Selección y preparación del equipo de trabajo

<b>PATROCINADOR</b>	Director de Manufactura
<b>TUTOR</b>	Gerente de Elaboración
<b>BLACK BELT</b>	Vicepresidente Manufactura
<b>EQUIPO DE MEJORA</b>	Líder de Producción Analista de Calidad Microbióloga Operador de Cocina Operador de CIP Operador Filtro Operador de BBT

**Figura 4.2** Miembros del Equipo

- ✓ El proyecto no presenta un beneficio económico debido a que su impacto es para la mejora de la calidad de la cerveza
- ✓ Se define como métrico primario el indicador Micro Levaduras

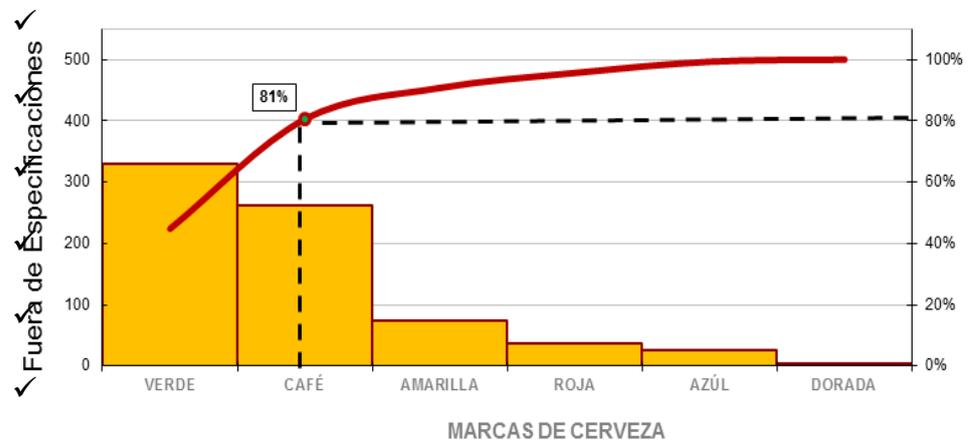
- **Medir**

- ✓ Los componentes claves del proceso fueron identificados con un Macro Mapa que permitió enfocar el proyecto en los procesos de Elaboración del mosto, Fermentación, Maduración, Filtración y Almacenamiento en BBT



**Figura 4.3** Macro Mapa del proceso

- ✓ Con el Diagrama de flujo de procesos se establecen los puntos de recolección de datos, alimentando al Mapa de proceso detallado, el cual permitió identificar aquellas condiciones necesarias que se dejaban de hacer ya sea por desconocimiento o por limitaciones de equipos y tecnología.
- ✓ Mediante la estratificación del problema se estableció que para alcanzar la meta establecida era importante corregir o aplicar las mejoras en las principales marcas de cerveza, tales como Verde y Café ya que por los volúmenes de producción eran las que más afectaban al indicador.



**Figura 4.4** Diagrama de Pareto de incumplimiento por marca al indicador Micro Levadura

- Con la utilización de la matriz de Causa y Efecto se identificaron las  $X_s$  que afectaban de forma directa o indirecta al indicador de Micro Levadura y posteriormente haciendo un AMEF se determinó cuál de todas las  $X_s$  tenían mayor impacto en base al cálculo de NPR o Número Prioritario de Riesgo. Con lo que se obtuvieron las siguientes variables:
  - Variable  $X_1$ : Presencia de Puntos Muertos.
  - Variable  $X_2$ : Efectividad de la solución desinfectante en CIP a Tanques Intermedios.
  - Variable  $X_3$ : Flujo de Filtración.

- Variable  $X_4$ : Proceso de Finalización de Filtración: flujo y presión.
  - Variable  $X_5$ : Mix de Polvos Filtrantes.
  - Variable  $X_6$ : Concentración de Hidrogel.
  - Variable  $X_7$ : Temperatura de Maduración.
- Se puede establecer que para el cumplimiento del indicador es crítico el asegurar en el proceso los siguientes puntos:
    - Control periódico de la efectividad de los protocolos de CIP así como cumplir la frecuencia establecida para la limpieza de los equipos.
    - En la Filtración de cerveza se debe operar con el flujo establecido de 620 hl/h y especialmente el proceso de finalización de ciclo se debe hacer según la rampa de descenso de flujo indicada en el protocolo de Filtración que es de 10 hl/h por cada 10 minutos.
    - El mejor mix de polvos Filtrantes para la retención de Levadura en el proceso de filtración se debe mantener de la siguiente manera:

Precapa 1: 4 Hyflo, 1 Harbolite

Precapa 2: 5 Estandar, 3 Hyflo

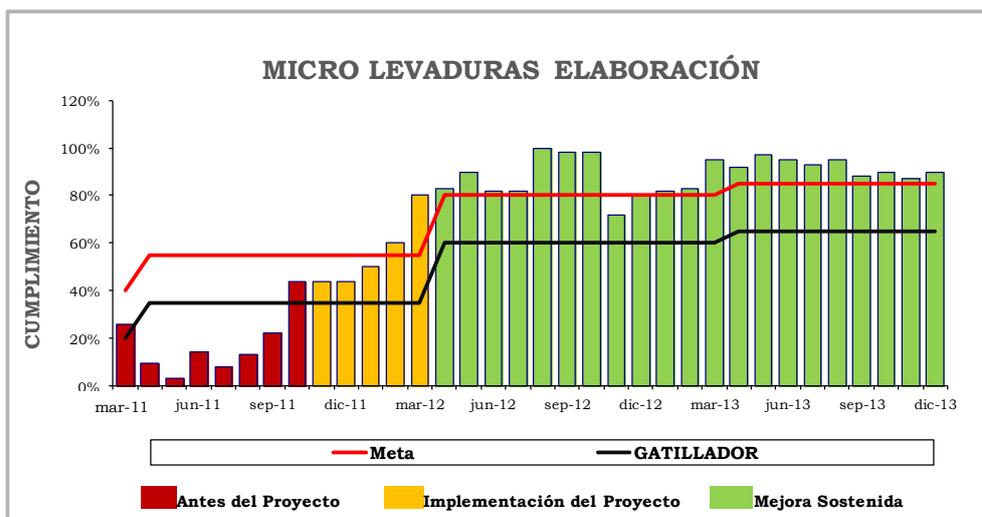
Carga de Mantenimiento: 4 Estandar, 4 Hyflo

- Asegurar la buena calidad de la cerveza madura controlando el cumplimiento de los siguientes parámetros.

Concentración de Hidrogel: 100 gr/hl

Temperatura de maduración:  $\leq -1,5^{\circ}\text{C}$

- La aplicación de la metodología DMAIC para el desarrollo del proyecto permitió mejorar el indicador de Micro Levadura desde 44% al arranque del proyecto hasta un cumplimiento del 80% al mes de marzo del año 2012, mayor al objetivo fijado de 44%. Además luego de dos años de su implementación la mejora ha sido sostenida, tal como se indica en la Figura 4.2.



**Figura 4.5** Mejora Sostenida del Indicador de Micro Levaduras

## Recomendaciones

- Debe existir en el área capacitación del personal a todo nivel acerca del proceso objeto de este estudio sobre los cambios que se han efectuado buscando generar sentido de pertenencia en el personal y establecer el cumplimiento de metas que ayuden a generar confianza para el cumplimiento del Indicador de Micro Levadura.
- Para que los resultados sean sostenibles la organización debe tener las herramientas necesarias que permitan detectar a tiempo alguna desviación en caso de presentarse, por lo que recomendamos las siguientes actividades:

- El sistema de enfriamiento de trasiego debe ser revisado periódicamente para garantizar que el proceso de maduración inicie con temperaturas menores a  $-1,5^{\circ}\text{C}$ .
- Garantizar que los responsables de la operación del filtro conozcan y cumplan el protocolo de filtración en especial el caudal de trabajo y la etapa de finalización de filtración para evitar golpes o caídas de presión. Esto puede lograrse con un programa de inducción y toma de competencias periódicos, con una frecuencia mínima anual.
- Se deben llevar a cabo auditorías periódicas de las operaciones, para confirmar que las operaciones se están llevando a cabo de acuerdo con las normas de funcionamiento. Si no es así, decidir si hay que revisar las normas, re-educar, re-entrenar o volver a motivar a los operadores, y tal vez revisar el programa de entrenamiento.

# APÉNDICES



## APÉNDICE 02

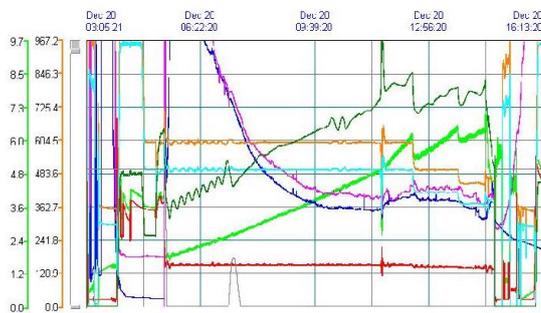
### ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE FILTRACIÓN

#### 1. Introducción

Luego de terminadas las pruebas de filtración buscando mejorar el indicador de Micro Levadura en el área de Elaboración, es necesario estandarizar el proceso de Filtración implementando las mejoras que permitieron en las pruebas obtener resultados aceptables.

#### 2. Flujos de Filtración y Presión de Entrada

Como se aprecia en la figura 1, en una filtración normal, cuando la presión de entrada llegaba a 6-6,5 Bar (*curva verde*), la operación normal era bajar el flujo para extender el ciclo de filtración, en una magnitud de 50 hl/h en promedio, esto provocaba que hayan diferencias de presión de entrada negativas, lo que provocaría movimiento interno del lecho filtrante y que sería la causa de paso de levadura como se mostró durante las pruebas de caracterización microbiológica.

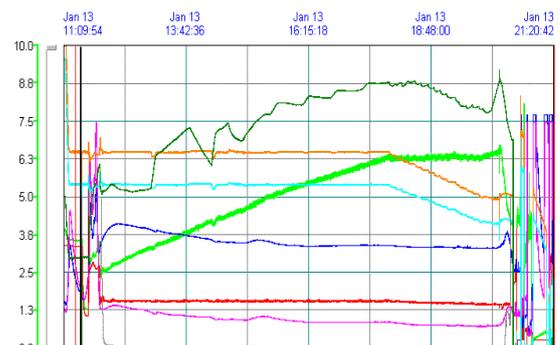


**Figura 1.** Curvas de filtración. Bajada de flujo de 50 hl/h

La caída brusca de presión de entrada se debe a la reducción de flujo, por lo que la alternativa, para extender el ciclo de filtración sin tener que comprometer la presión de entrada es bajar el flujo de forma lenta. En las pruebas se realizaron bajadas de flujo de **10 hl/h cada 8 minutos**, formándose la curva que se muestra en la figura 2.

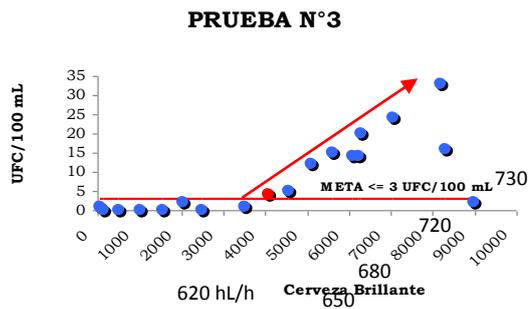
De esta manera se logra extender la filtración en la misma cantidad de tiempo que en una filtración normal, con la diferencia de que la presión de entrada permanece constante hacia el final del ciclo.

Los resultados de siembras de levadura corroboran que es una buena práctica el bajar el flujo en **forma de rampa** (*curva naranja*) en lugar de **forma escalonada**, por lo que es una de las prácticas a estandarizar en la filtración.



**Figura 2.** Curvas de filtración. Bajada de flujo de 10 hl/h cada 8 minutos

Además es necesario recalcar que durante las pruebas se trabajó con un **flujo de entrada al filtro de 620 hL/h**, consiguiéndose buenos resultados y por lo tanto es necesario que se trabaje con este flujo estándar. Asimismo es importante mencionar que al subir el flujo de filtración, incluso gradualmente, el lecho filtrante deja pasar levadura con una relación directamente proporcional, mayor flujo-mayor paso de levaduras, por lo que es fundamental evitar esta práctica, hasta que se realicen pruebas para determinar el nivel de precapado necesario para soportar un mayor flujo de cerveza (g polvo/m<sup>2</sup>), ver figura 3.



**Figura 3.** Prueba de filtración, subiendo el flujo de entrada

En la tabla 1 se muestran los resultados de las siembras microbiológicas de la prueba 4 del Proyecto Micro Levadura. Los resultados en filtro son buenos siempre que se sigan los pasos anteriormente mencionados.

**Tabla1.** Prueba 4 Filtración.

hL Filtrados (cerveza brillante)	Contaje levaduras UFC/100 mL			
	Filtro	Shock Absrb.	Espejo	TQ agua
13	1	1	3	0
1150	0			
2120	0	0	3	0
3540	1	3	0	0
3971	1			
5034	4	4	12	0
6350	0	6	0	0
7597	1			
8235	2	1	3	0

### 3. Finalización de Filtración

Debido a la necesidad de bajar el flujo de filtración hasta 350 hl/h al finalizar la filtración, es recomendable *terminar en un Tanque Intermedio específico*, pues si hay paso de levadura por la reducción drástica de presión de entrada, iría a un solo tanque. En nuestro caso se ha determinado que la bajada de filtración debe ir al *Intermedio 3*. Luego será bombeado al *Gobierno 3* esta cerveza, por una sola línea. Después hay que proceder hacer CIP ácido (o completo según el caso) a estos tanques y línea.

### 4. Precapado

La preparación de la precapa durante las pruebas se realizaron con normalidad esto es: 4 sacos Hyflo + 1 Harbolite, luego 2 Hyflo + 2 Estándar, pero en la última recirculación se dejó alcanzar una turbidez igual a la de la cerveza ( $\leq 0,7$  y  $\leq 0,4$ ) para luego empezar con el ingreso de la primera carga de mantenimiento previo al arranque de la filtración. Esto se realiza con la finalidad de que todo el

polvo quede adherido al lecho filtrante antes del ingreso de cerveza.

Las cargas de mantenimiento se mantienen en 4 Hyflo y 4 Estándar. Según sea el caso es recomendable aumentar la carga de estándar, por ejemplo cuando haya paso de magas de levadura, pero no disminuir esta carga por debajo de 4 sacos. El ingreso de la primera carga de mantenimiento de polvo empezó 10 minutos antes del ingreso de la cerveza, con la finalidad de reforzar la precapa.

## 5. Frecuencias de CIP

Se está manejando el CIP completo en la línea de cerveza-Shockabsorber-carboblending-espejo de TQ Intermedios, según últimos datos microbiológicos están dando buenos resultados.

*Los tiempos son: 30 minutos de soda y luego 60 minutos de Divosan OSAN.* Al inicio de las pruebas de CIP, los análisis microbiológicos demostraron que había presencia de levadura en el agua de enjuague del Espejo de Cerveza Brillante, por lo que se aisló la sección por donde pasa la cerveza madura de la sección de cerveza brillante. Esto se logra con un enjuague inicial al piso desde el espejo de cerveza madura hasta la salida del enfriador. Luego se aísla el enfriador y se realiza el enjuague al resto de tubería, seguido continuar con el CIP normal, sin pasar por el enfriador. El análisis microbiológico de levadura en el agua de enjuague del espejo de cerveza dio *0 UFC/100 mL* en la última prueba realizada, por lo que este procedimiento sería el adecuado para el aseo de esta línea.

Cabe mencionar que las soluciones de esta última prueba fueron nuevas y con una concentración de 3,5% de soda y 1,5% Divisan OSAN.

Además el CIP no pasa por el Buffer, sin embargo se le realiza CIP ácido a este tanque por el acople especial que tiene. Es necesario también recordar abrir las válvulas de los puntos muertos: *entrada de aditivos, entrada de esencia, válvulas para el nuevo CIP del filtro, toma muestras del espejo y shock absorber, las soluciones van al piso en estos puntos.* Se generó un *check list mensual para llevar el control de aseos de tanques y líneas en Bodega de Frío principal* y cambio de soluciones de limpieza (con la concentración. Hay que comunicar a los operadores de Filtro y CIP que llenen el formato para el seguimiento respectivo.

Recordar que el retorno del CIP se realiza por la línea de purga de C&C, por lo que se la tiene que esterilizar con agua caliente (del CIP filtro) antes de usarla en el CIP por un tiempo de 5 minutos. Esta operación se la realizará hasta que esté instalada la nueva línea de purga de C&C, lo cual ya está gestionado con mantenimiento y están realizando los trabajos, para este fin se utilizará una línea que estaba sin uso en la salida de los tanques colectores de levadura.

Ya se implementó la válvula en la línea de succión de la bomba 1 del Tanque Buffer, para aislar la bomba cuando se purguen los tanques que entran a filtración (figura 3).



**Figura 3.** Bomba 1 del Tanque Buffer

## **6. Empuje de Cerveza Madura en Trasiego**

Al final del proceso de trasiego se utiliza agua carbonatada para realizar el empuje final de cerveza que queda en la tubería. Se ha identificado el riesgo de contaminación del tanque de agua carbonatada con cerveza madura cuando se abre la válvula de agua carbonatada en las líneas de trasiego sin haber encendido antes la bomba, por lo que la cerveza madura puede regresarse por la línea de agua debido a la presión del tanque madurador. Para evitar esto hay que encender primero la bomba de agua carbonatada y luego abrir la válvula para el empuje de cerveza madura, y cuando se termine el empuje, cerrar la válvula y luego apagar la bomba.

Para evitar este riesgo se pidió una válvula cheque y un visor en esta línea, pero llegará en Abril/2012 de acuerdo al plan de mantenimiento. Por lo que para eliminar este riesgo *se debe trabajar en la comunicación entre operador de de Mostos y operador de Filtro* para que en conjunto coordinen el empuje de cerveza madura.

## **6. Traspaso de Cerveza de C&C**

Se realizó la prueba de traspaso de la cerveza de C&C a un tanque con cerveza de trasiego con hidrogel, presentando buenos resultados en la filtración, ya que no se saturó el filtro rápidamente como suele suceder en los tanque Uniprosos que tienen C&C. Se trasegó el tanque UP 9 (3844 hl) con hidrogel al UP 8 y además recibió 635 hl de cerveza de C&C. Al momento de entrar a filtración se purgó de este tanque aproximadamente 100 hl de cerveza y se filtró todo el tanque en un mismo ciclo de filtración, se dosificó Silica en esta filtración. En curso está el tanque 24 trasegado al UP 3 donde también se traspasó C&C al final del trasiego, aproximadamente 800 hl.

La ventaja que se consigue con este procedimiento es la de filtrar tanques clarificados –trasiego con hidrogel- en lugar de tanques Uniprosos ya que estos últimos hacen subir la presión de entrada de filtro rápidamente, lo cual también afectaría al indicador de Micro Levadura.

Aparte de la estandarización, hay que seguir insistiendo en la frecuencia del CIP de los tanques, incluso el de agua carbonatada (de acuerdo con microbiología debe ser c/3 días este tanque).

Se continúan realizando pruebas en CIP para ya no tener contajes en aguas de enjuague de la línea de cerveza brillante, se espera que con estas prácticas de CIP y las descritas para la filtración se mejore el indicador. Estandaricemos estas operaciones y evaluemos los resultados. Se informará del avance de las pruebas.

## APÉNDICE 03

### ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE TRASIEGO

#### CONDICIONES PREVIAS

Las líneas que conforman el sistema de trasiego y el tanque receptor, debe estar limpias y sanitizadas, incluyendo los accesorios: codos, espejos de acero inoxidable.

#### PROCEDIMIENTO:

1. Presurizar el tanque FV con CO<sub>2</sub> 0.5 Bar. al 99.99% de pureza.



2. Emborrachar el tanque SV.  
Tiempo: SV 5000 HI: 1 Hora; SV 10000 HI: 2 Horas



3. Conectar el codo de trasiego desde el tanque FV hacia la línea de trasiego.
4. Armar codo de aire para mantener el tanque FV contra presionado durante el transcurso del trasiego, por la línea de suministro.

#### PREPARACION DEL TANQUE DE HIDROGEL.

- El tanque debe encontrarse limpio.
- Desalojar el agua de enjuague residual, procedente del CIP realizado.
- Ingreso de agua carbonatada al tanque de hidrogel vacío, para acondicionar el desplazamiento oxígeno en tanque, tuberías y bombas.
- Desalojar agua carbonatada en su totalidad.



5. Se arranca receta de Hidrogel. Opción Menu Hidrogel. Opción Comando Producción. Start

Llenado tanque, Carga Hidrogel, Agitación e incorporación de CO<sub>2</sub> durante el lapso de 1 hora.

6. Asegurar que la distribución de agua este correcta en función de colocación de codos en el espejo de envío de agua carbonatada al tanque hidrogel.
7. Llenar el tanque de hidrogel con agua carbonatada en base a los hectolitros del FV a trasegar. Si es 4000 HI colocar 12 HI de agua carbonatada, si es de 8000 colocar 25 HI agua carbonatada.
8. Colocar sacos de hidrogel: FV 4000 HI: 16 sacos. FV 8000 HI. 32 sacos. Para obtener un resultado de 100 gr Hidrogel/HI Cerveza.



9. La dosificación de pulsaciones en línea una vez arrancado el trasiego va estar de acuerdo a la cantidad de Hectolitros a trasegar.
10. Verificar codos en espejos para comunicación correcta de tanques, así como

conexiones de tuberías y accesorios adecuadas para armar la línea de envío de cerveza desde el tanque FV hasta el tanque SV



11. Previo al arranque asegurar que la línea este llena con agua carbonatada y que no exista fuga en los acoples.
12. Desplazar el agua carbonatada de tuberías por presión de columna de cerveza del FV, hasta llegar al punto de entrada al SV.
13. Durante la primera hora trasegar solo por gravedad, sin bomba.
14. Activar el sistema de ingreso de amoniaco al intercambiador de placas, para así enfriar la cerveza desde 5°C a -2°C



15. Una vez estable el trasiego, proceder a encender la bomba, verificando que en el medidor de caudal exista flujo. El caudal operativo es de 1000 HI/hr.
16. Activar la inyección de CO<sub>2</sub> en la línea del carbonatador de trasiego. El medidor en línea por electrólisis permite controlar la concentración de CO<sub>2</sub>: 2.45 a 2.55 % v/v. durante el trasiego.
17. Desactivar el sistema de enfriamiento del trasiego, una vez que resta 20 hl del FV
18. Para finalizar la operación de trasiego participan dos operadores, el primero se

ubica cerca del interruptor de la bomba de trasiego, mientras que la otra persona al visualizar la no presencia de cerveza en el visor del FV se comunica via radio con el primero para desactivar la bomba y apagar la dosificación de CO<sub>2</sub> en línea.

19. Desarmar el codo de trasiego, para eliminar presión de CO<sub>2</sub>, mediante el envío por la línea de CIP.
20. Aireación del FV para inicio de CIP
21. Para recuperar la cerveza que se encuentra en la línea de trasiego se debe empujar con agua carbonatada, para esto el operador debe abrir la válvula en la línea de trasiego.
22. Encender la bomba de agua carbonatada y detener esta operación al momento de que no haya cerveza en el visor del SV.

## **APÉNDICE 04**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE REACCIÓN**

#### **1. Objetivo**

Este documento tiene como objetivo establecer las acciones que se deben tomar ante una eventual presencia de levadura en la cerveza brillante que afecte al indicador de Micro Levadura.

#### **2. Acciones a Tomar por presencia de Levadura en Cerveza Brillante.**

El área de Calidad debe comunicar de manera inmediata al área de operación, ya sea al Gerente, Líder o Analista cuando detecte presencia de levadura en la cerveza filtrada por medio de la siembra microbiológica.

Los microbiólogos deben revisar otros resultados de las siembras microbiológicas para asegurar si se trata de una muestra aislada o si ya es un indicio de que se está presentando un problema.

Al mismo tiempo el área de Elaboración debe realizar trazabilidad del producto e identificar el cumplimiento o incumplimiento de los parámetros establecidos en los instructivos de trabajo, así como la limpieza de las líneas y tanques de cerveza. Los responsables de esta verificación la iniciará el líder y el analista que se encuentren de turno al momento de haber detectado el problema involucrando a los operadores de cada una de las áreas.

## Plan de Reacción

Cocina	Maduración	Filtración	Bbts
<ul style="list-style-type: none"><li>Control del Nivel de calcio en mosto</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Trasegar tanques a -2°C con 100 g/Hl de Hidrogel.</li><li>Presión en tanques de 0,25 Bar con CO<sub>2</sub></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Flujo de cerveza en filtro constante: 620 Hl./h; No incrementar.</li><li>Mix Polvos Filtrantes: 4 Hyflo + 4 Estándar.</li><li>Tanques Uniproceso: Evitar en filtración.</li><li>Bajar el flujo en rampa hacia el final de la filtración, no en forma escalonada: 10 Hl./h c/10 min.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Mantener CIP completos de TQs de acuerdo a GTS.</li><li>CIP línea de Cerveza y Carbo blending cada parada de filtración: desinfección con DIVOSAN.</li></ul>
<b>Se cumple</b> <b>No se cumple</b>	<b>Se Cumple</b> <b>No se cumple</b>	<b>Se Cumple</b> <b>No se cumple</b>	<b>Se cumple</b> <b>No se cumple</b>

Con estas actividades se garantiza que no hay paso de levadura a BBTS

La herramienta a utilizar para verificar el cumplimiento de las operaciones es la siguiente.

En caso de existir incumplimiento en las condiciones de trabajo se debe corregir inmediatamente la desviación y planificar la limpieza completa de todos los tanques y líneas de cerveza. Posteriormente se debe planificar una reunión con los actores del área para aplicar la herramienta de LOS 6 PASOS PARA LA SOLUCIÓN EFECTIVA DE PROBLEMAS.



Finalmente después de haber encontrado la causa raíz del problema se debe comunicar a al personal involucrado en todas las etapas del proceso sobre cuál fue la falla y las soluciones posibles.

## APÉNDICE 05

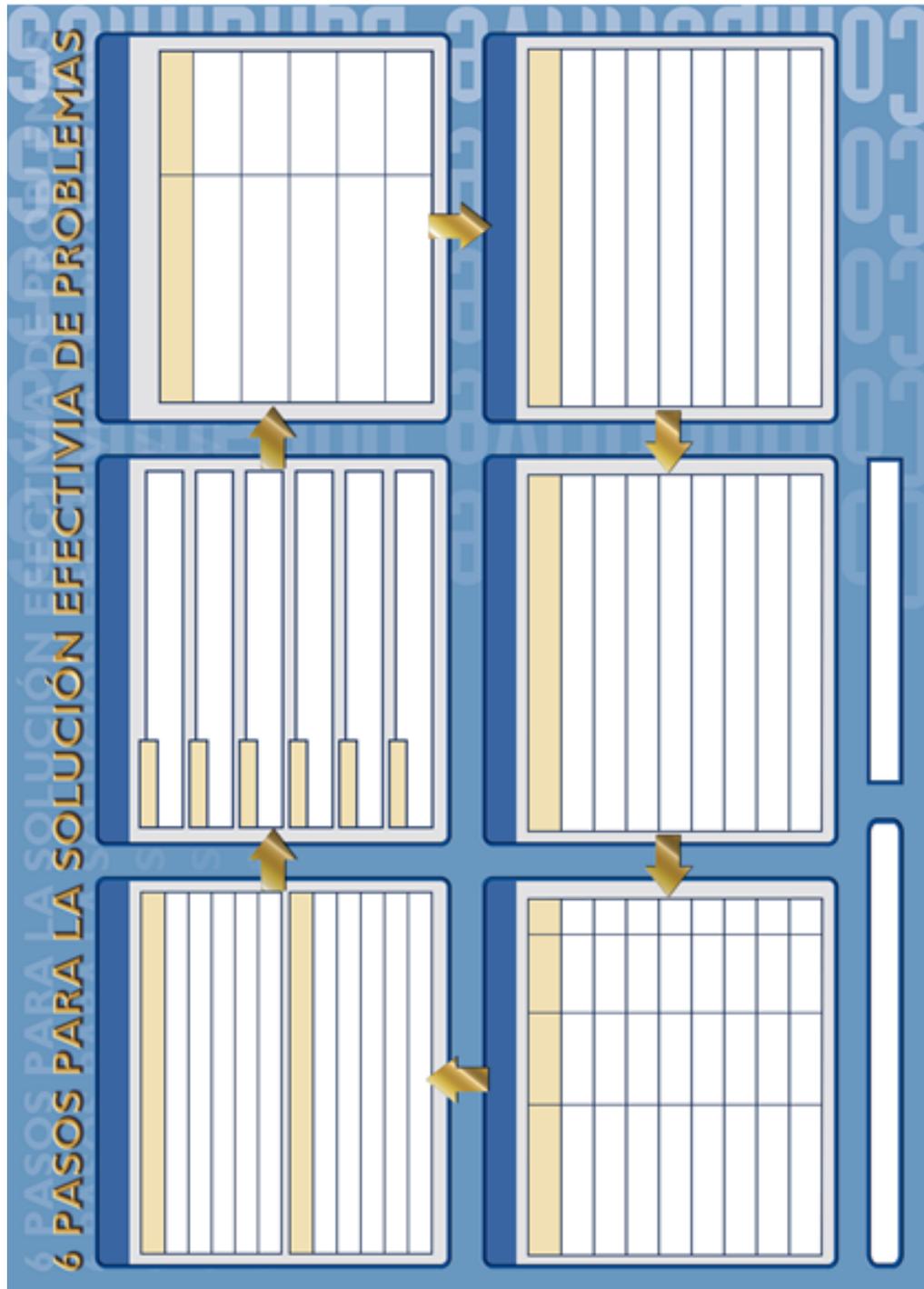
### PLAN DE REACCION

# Plan de Reacción

Cocina	Maduración	Filtración	Bbts
<ul style="list-style-type: none"><li>Control del Nivel de calcio en mosto</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Trasegar tanques a -2°C con 100 g/HI de Hidrogel.</li><li>Presión en tanques de 0,25 Bar con CO<sub>2</sub></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Flujo de cerveza en filtro constante: 620 HL./h; No incrementar.</li><li>Mix Polvos Filtrantes: 4 Hyflo + 4 Estándar.</li><li>Tanques Uniproseso: Evitar en filtración.</li><li>Bajar el flujo en rampa hacia el final de la filtración, no en forma escalonada: 10 HL./h c/10 min.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Mantener CIP completos de TQs de acuerdo a GTS.</li><li>CIP línea de Cerveza y Carbo blending cada parada de filtración: desinfección con DIVOSAN.</li></ul>
Se cumple	Se Cumple	Se Cumple	Se cumple
No se cumple	No se cumple	No se cumple	No se cumple

Con estas actividades se garantiza que no hay paso de levadura a BBTs

**APÉNDICE 06**  
**PASOS PARA LA SOLUCIÓN EFECTIVA DE PROBLEMAS**  
**(Competitive Dynamics International)**



## **BIBLIOGRAFÍA**

1. BREYFOGLE III FORREST W., CUPELLO JAMES M., MEADOWS BECKI, Managing Six Sigma: A Practical Guide to Understanding, Assessing, and Implementing the Strategy That Yields Bottom-Line Success, John Wiley & Sons, Inc., Primera edición, 2001
2. TANG LOON CHING, GOH THONG NGEE, YAM HONG SEE, YOAP TIMOTHY YOAP, Six Sigma: Advanced Tools for Black Belts and Master Black Belts, John Wiley & Sons, Inc., The Atrium, Southern Gate, Chichester, England, 2006
3. BREYFOGLE III FORREST W., Implementing Six Sigma. Smarter Solutions Using Statistical Methods, Segunda edición, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2003
4. MAGNUSSON KJELL, KROSLID DAG, BERGMAN BO, BARBA ENRIC, Seis Sigma Una Estrategia Pragmática, Barcelona, España, 2008

5. PYZDEK THOMAS, The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Greenbelts, Blackbelts, and Managers at All Levels, McGraw-Hill, EEUU, 2003
  
6. SCHOLTES PETER R., JOINER BRIAN L., STREIBEL BARBARA J., The Team Handbook, Third Edition, Joiner/Oriel Inc, Madison, EEUU, 2003
  
7. CROWN CORK AND SEAL INC., Libro de texto SPC (versión digital), 2006
  
8. BUESTÁN MARCOS, Presentación de Curso DMAIC Avanzado, Cervecería Nacional, Enero 2012
  
9. Cervecería Nacional, Haciendo la Diferencia - Reporte Anual 2012, Disponible en: [http://www.cervecerianacional.com.ec/Files/RevistaDigital/Reporte\\_Anual\\_2012/index.html](http://www.cervecerianacional.com.ec/Files/RevistaDigital/Reporte_Anual_2012/index.html), Fecha de acceso: Abril de 2012
  
10. Introducción a Seis Sigma, Disponible en: [http://mexico.pma.org/magazine/aug07/pdf/seis\\_sigma.pdf](http://mexico.pma.org/magazine/aug07/pdf/seis_sigma.pdf), Fecha de acceso: Noviembre de 2013

11. KNOWLES GRAEME, Six Sigma, 2010, Disponible en: <http://www.hailienene.com/resources/six-sigma.pdf>, Fecha de acceso: Noviembre de 2012

12. Filosofías y Marcos de Referencia de la Calidad, Disponible en: <http://jorriveraunah.files.wordpress.com/2011/06/capitulo-3-filosofias-y-marcos-de-referencia-de-la-calidad.pdf>, Fecha de acceso: Noviembre de 2013

13. The Evolution of Six Sigma, Disponible en: <http://www.pqa.net/ProdServices/sixsigma/W06002009.html>, Fecha de acceso: Noviembre de 2013

14. Gestión de Calidad Total (TQM), Disponible en: [http://www.tuobra.unam.mx/publicadas/040119150618-Gesti\\_oa.html](http://www.tuobra.unam.mx/publicadas/040119150618-Gesti_oa.html), Fecha de acceso: Abril de 2014

15. Curso de Seis sigma, Disponible en: <http://www.icicm.com/files/CursoSeisSigma.doc>, Fecha de acceso: Abril de 2014

16. Seis Sigma, Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/DMAIC>, Fecha de acceso: Abril de 2014

17. Tutorial de Muestreo, Disponible en:  
[http://www.psico.uniovi.es/dpto\\_psicologia/metodos/tutor.7/p3.html](http://www.psico.uniovi.es/dpto_psicologia/metodos/tutor.7/p3.html), Fecha de acceso: Abril de 2014

18. Coeficiente de asimetría, Disponible en:  
[http://enciclopedia.us.es/index.php/Coeficiente\\_de\\_asimetría](http://enciclopedia.us.es/index.php/Coeficiente_de_asimetría), Fecha de acceso: Abril de 2014

19. Go lean Six Sigma, Disponible en: <http://www.goleansixsigma.com/dmaic-five-basic-phases-of-lean-six-sigma/>, Fecha de acceso, Abril de 2014

20. Pruebas de Hipótesis para una muestra. Disponible en:  
<http://www.monografias.com/trabajos30/prueba-de-hipotesis/prueba-de-hipotesis.shtml>, Fecha de acceso: Abril de 2014

21. Análisis Descriptivo. Disponible en:  
<http://www.sergas.es/gal/documentacionTecnica/docs/SaudePublica/Apli/Epidat4/Ayuda/An%C3%A1lisis%20descriptivo.pdf>, Fecha de Acceso: Abril de 2014

22. VAZQUEZ JAIME, “Filosofía 6-Sigma una metodología para mejorar la calidad de productos y servicios en el sector productivo” (Tesis, Instituto

Politécnico Nacional), México, 2005, Disponible en:  
<http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/47/Tesis%20%20Metodologia%206%20-seis%20sigma.pdf?sequence=1>, Fecha de Acceso: Abril de 2014

23. Análisis estadístico descriptivo, Disponible en:  
<http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/analisis-estadistico-descriptivo/analisis-estadistico-descriptivo.shtml>, Fecha de acceso: Abril de 2014

24. SANCHEZ CAROLINA, ÁVILA JESÚS, “Estadística Descriptiva Como Herramienta Empresarial” (Trabajo de curso especial de grado, Universidad de Oriente), Cumaná, 2008), Disponible en:  
[http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/3977/1/Tesis\\_CSYA.pdf](http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/3977/1/Tesis_CSYA.pdf), Fecha de acceso: Abril de 2014

25. Matriz de Priorización. Disponible en: <http://www.aiteco.com/matriz-de-priorizacion/>, Fecha de acceso: Abril de 2014

26. KUNZE WOLFGANG, Tecnología para Cerveceros y Malteros, VLB Berlín, Primera Edición en español, 2006

27. Capacidad de Procesos. Disponible en:  
[http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC\\_6.pdf](http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC_6.pdf), Fecha de acceso: Abril de  
2014