

METODOLOGÍA SEIS SIGMA APLICADA A LA MEJORA DE LA CALIDAD AGUA DE INYECCIÓN

Fernando Soria, Sony Gómez, Gustavo Racioppi
GE Water & Process Technologies

SINOPSIS

El presente trabajo dió comienzo al observarse altos niveles de concentración de petróleo en agua (O/W) y total de sólidos en suspensión (TSS), en una de las baterías de inyección de agua de producción de un yacimiento de la cuenca cuyana.

El alto contenido de O/W (56 ppm en promedio), podría llegar a producir el taponamiento sobre la cara de la formación inyectora, provocando una disminución en el caudal de inyección.

Adicionalmente, los altos niveles de O/W favorecen el aumento de procesos corrosivos y/o incrustantes que pueden poner en riesgo las instalaciones de superficie y fondo de pozos, llevando a operaciones de alto riesgo (pulling, workover, limpieza de ductos) con un inminente riesgo de daño ambiental.

El impacto económico, para la operadora del campo, sólo por concepto de workover podría ascender aproximadamente a U\$S 250,000 al año.

El objetivo primario del proyecto es mejorar la calidad del agua a la salida de la batería. Se busca a través de la aplicación de mejoras en el proceso, cumplir con la meta de reducir el nivel de O/W hasta en un 50% de los valores actuales.

La metodología utilizada comprende 5 fases: DEFINIR – MEDIR – ANALIZAR – MEJORAR y CONTROLAR. Esta metodología se conoce como Seis Sigma y está orientada a la mejora de procesos mediante el uso de un compendio de herramientas estadísticas, de simulación de procesos y corridas de planta que permiten la investigación e identificación de las causas vitales de variación dando una excelente interfase Teórico-Práctica.

1. INTRODUCCIÓN

Desde 1995 **GE** adopto Seis Sigma como su modo de gerenciar, colocando al cliente como foco y usando sus hechos y datos para alcanzar mejores soluciones. En **GE Water & Process Technologies** de Argentina, se esta trabajando para establecer una plataforma que haga que nuestros clientes sientan y experimenten los beneficios de Seis Sigma.

Seis Sigma implica tanto un sistema estadístico como una filosofía de gestión y lo podemos definir como:

1. Una medida estadística del nivel de desempeño de un proceso o producto. La letra griega minúscula sigma se usa como símbolo de la desviación estándar, siendo ésta una forma estadística de describir cuánta variación existe en un conjunto de datos
2. Un objetivo de lograr casi la perfección mediante la mejora del desempeño.
3. Un sistema de dirección para lograr un liderazgo duradero en el negocio y un desempeño de primer nivel en un ámbito global.

Se ha desarrollado como sistema para la ejecución de proyectos y resolución de problemas, la metodología DMAIC, que por sus siglas en inglés significa: Definir-Medir-Analizar-Mejorar (*Improve*)-Controlar)

-Definir (D): en esta fase debe ser identificado qué proceso (Y) del Negocio será mejorado para atender a una necesidad o Característica Crítica para el Cliente (CTQ) aumentando su satisfacción.

Una vez haya sido identificado el proceso a ser mejorado, se dice que se ha identificado un “Proyecto Seis Sigma”. Debe ser verificada la viabilidad económica del “proyecto” y hacer una previsión de los beneficios (financieros inclusive) que pueden ser alcanzados.

Las herramientas más utilizadas en esta fase son: Técnicas de Investigación con los clientes, “Benchmarking”, Análisis Costo-Beneficio, Determinación de la Función de Calidad QFD, Mapa del Proceso (Macro), Pareto, etc.

- Medir (M): en esta fase se debe hacer un relevamiento general de todas las entradas del proceso (X's) y cómo se relacionan con los CTQ's (características críticas para la calidad) del cliente. El proceso debe ser mapeado.

Se debe medir la habilidad del proceso de producir items sin defectos. En otras palabras, se mide la capacidad del proceso y se expresa su valor en términos de σ (sigma).

En esta fase las principales herramientas utilizadas son: Mapa del Proceso (detallado), Espina de Pescado, Matriz de Causa & Efecto, Análisis del Sistema de Medición y Cálculo de Capacidad, así como la estadística básica.

- Analizar (A): en esta fase se deben buscar las fuentes de variación (X's) que aumentan la variabilidad del proceso y que son responsables por la generación de defectos.

Las principales herramientas utilizadas son: Estadística Básica, Análisis Gráfico de los Datos, Prueba de Hipótesis, Prueba chi-cuadrado, Análisis de Regresión y FMEA.

- Mejorar (I): en esta fase se toma acción sobre el proceso para mejorarlo con base en las fuentes de variación (X's) identificadas en la fase de Análisis (A). Al final de esta fase se debe calcular la nueva capacidad sigma del proceso (σ) para comprobar que hubo una mejora significativa.

Las principales herramientas utilizadas son: Plano de Acción, FMEA, Diseño de Experimentos, EVOP, Análisis de Regresión.

- Controlar (C): es la última etapa. En este punto se deben emplear métodos para monitorear las fuentes de variación (X's) identificadas para mantener la capacidad (σ) mejorada adquirida. Se debe pasar la responsabilidad por el monitoreo del proceso a los dueños del mismo.

Una confirmación de los beneficios económicos alcanzados debe hacerse.

Las principales herramientas utilizadas son las cartas de control, dispositivos a prueba de error, Planos de Control, procedimientos, etc.

2. DESARROLLO

Este proyecto comenzó a gestarse al observarse altos niveles de concentración de petróleo en agua (O/W) y total de sólidos en suspensión (TSS), en una de las baterías de inyección de agua de producción en la que GE presta servicios de tratamientos químicos integrales, en un campo de petróleo de la cuenca cuyana en la Provincia de Mendoza, Argentina.

Debido a razones de diversa índole y no identificados hasta ese momento, la planta estaba entregando el agua de inyección en valores superiores a los especificados por el cliente en el contrato.

Con el objetivo de mejorar la calidad del agua de inyección se propuso al Representante del Cliente desarrollar un proyecto para recuperar los valores de especificación y conocer con mayor detalle las razones de la desviación. Este proyecto se realizó utilizando la metodología Seis Sigma.

El desarrollo del mismo, las herramientas utilizadas y la justificación de las conclusiones están descriptas en las figuras 1 a 24.

3. CONCLUSIONES

La ejecución de este proyecto demuestra que la metodología Seis Sigma aporta importantes beneficios a la empresa operadora del campo petrolero y a la empresa prestadora de servicios, entre los cuales se mencionan:

Para la empresa operadora:

- mayor recuperación del petróleo del agua de inyección que se sumará a la producción de la batería.
- minimiza la pérdida de producción por problemas del sistema de inyección.
- disminuir los costos operativos y de mantenimientos de instalaciones.
- documentar ahorros, que en este caso particular podría ascender aproximadamente a US\$250.000 en concepto de workover solamente.

Para la empresa de servicios:

- mantener y aumentar la confiabilidad de su cliente en el servicio brindado
- generar y documentar valor agregado para sus cliente

4. BIBLIOGRAFÍA

Brue, Greg, 2002. Seis Sigma para Directivos, McGraw Hill

Crosby, Philip B, 1989. Hablemos de calidad, McGraw Hill

Dutka, Alan.1998. Manual de AMA (American Marketing Association) para la Satisfacción del Cliente. Ed. Granica

Juran, Joseph M. y A. Blanton Godfrey. 2001. 5ª Ed. Manual de Calidad. Mc Graw Hill

5. FIGURAS

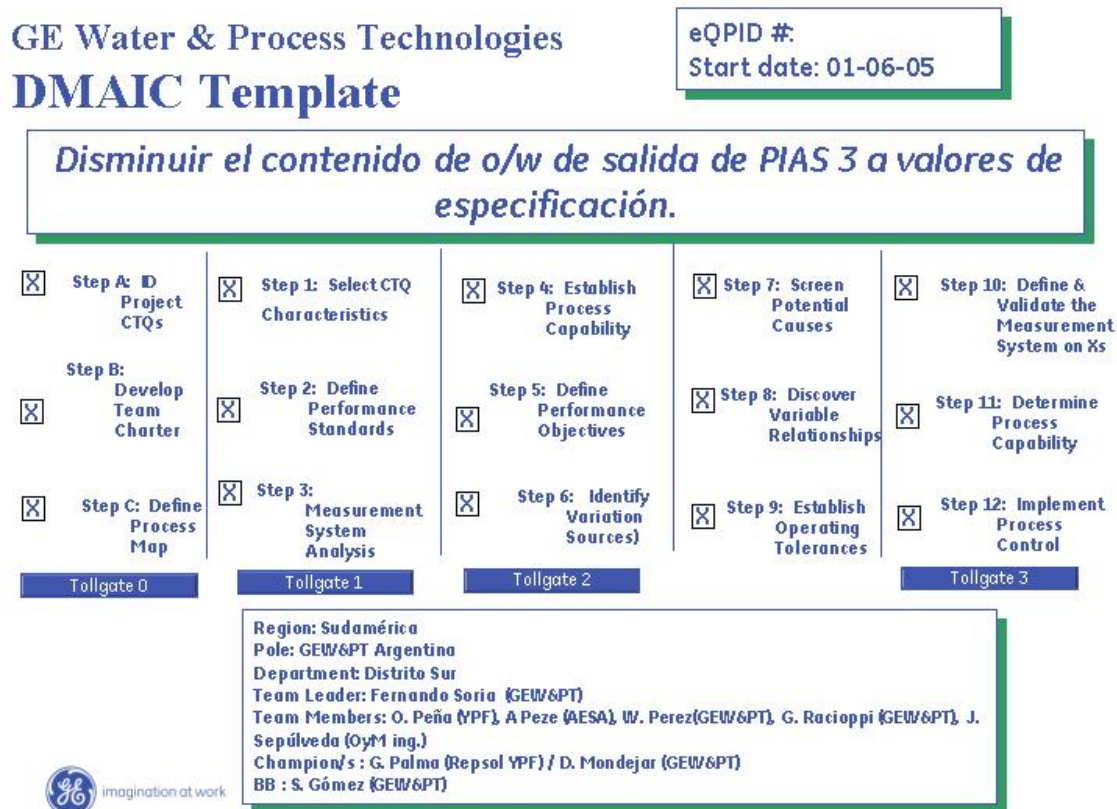


FIGURA 1

Step A - Identify Project CTQs

DMAIC

Que necesitamos conocer?

- *Quien es el cliente del Proyecto?*
- *Su necesidad o CTQ (Criticos de calidad).*

Customer	Sample Comments	Key Output Characteristic Important to Customer (need)
R. Luna: Recorredor E. Raga: Recorredor P. Rojas: Recorredor R. Barreras: Recorredor	Su preocupación es mantener las condiciones operativas de planta bajo control y en un nivel estable.	1. Mantener los parámetros de control del sistema estables, cumpliendo con las condiciones operativas solicitadas por los responsables de planta.
P.Scáttolo Jefe Recuperación Secundaria O. Peña Supervisor de Planta A.Peze Supervisor de Planta	Tienen un compromiso elevado de trabajar en post de lograr el volumen de agua con la calidad de agua de inyección requerida, ya que esta influye directamente en la operatividad y los costos del sistema.	1. Inyectar una calidad de agua de acuerdo a lo solicitado por el Ing. de Corrosión Gustavo Palma (Oil/Water, TSS, H2S, BRS, etc.). 2. Mantener los caudales de inyección. 3. Evitar roturas en líneas de alta presión. 4. Mantenimiento de instalaciones en general.
G. Palma Ing. Corrosión	Su preocupación es de minimizar pérdida de producción por la reinyección del petróleo.	1. Mantener la calidad de agua acorde a las exigencias del reservorio (Oil/Water, TSS, H2S, BRS, etc.). CTQ del proyecto: Salida de PIAS3 en ≤ 30 ppm de o/w



FIGURA 2

Step A - Identify Project CTQs

DMAIC

Transformamos el CTQ del cliente en los CTQ del Proyecto

PROCESS/PRODUCT DRILL DOWN TREE

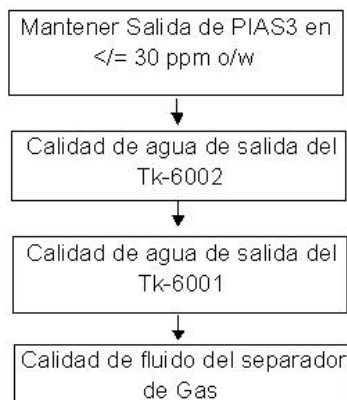


FIGURA 3

Step B - Develop Team Charter

DMAIC

Business Case	In/Out Scope																																																	
Maximizar la eficiencia de la PIAS3 traerá como beneficio: A Repsol YPF: Recuperación del Oil del agua de inyección que se sumará a la producción de la batería. Minimizar la pérdida de producción por problemas del sistema de inyección. Disminución de costos Operativos y de Mantenimientos de instalaciones. A GE Infrastructure: Mantener y aumentar la confiabilidad de su cliente en el Servicio brindado; Incorporar "Valor Agregado" a su Servicio.	In Scope : • Separadores de gases. • Tanque Cortador 6001. • Tanque Skimmer 6002 Out Scope : Otras instalaciones de PIAS 3 como: • Bombas de alta presión. • Líneas de conducción. • Instalaciones de fondo de pozo.																																																	
SMART Problem Statement	Project Timing/Milestones																																																	
Desde el primer trimestre del año 2005 se detecta un alto contenido de o/w en el agua disminuye la producción, puede ser causa de taponamiento sobre la cara de la formación inyectora y provoca el ensuciamiento general del sistema favoreciendo procesos corrosivos / incrustantes. Esto puede poner en riesgo las instalaciones de superficie y fondo de pozos, lo que puede llevar a operaciones de trabajo de alto riesgo (pulling, workover) y generando un elevado impacto ambiental negativo. Esto trae asociado un costo de US\$ 250 000	<table><tr><th></th><th>Feas</th><th>Mar-Jun</th><th>Jul-Sep</th><th>Oct-Dic</th><th>Ene-Mar</th><th>Abr-Jun</th></tr><tr><td>Definir</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Medir</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Analizar</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Mejorar</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Controlar</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Validación Champion's BB</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>		Feas	Mar-Jun	Jul-Sep	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	Definir							Medir							Analizar							Mejorar							Controlar							Validación Champion's BB						
	Feas	Mar-Jun	Jul-Sep	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun																																												
Definir																																																		
Medir																																																		
Analizar																																																		
Mejorar																																																		
Controlar																																																		
Validación Champion's BB																																																		
Goal Statement	Team Members (include business owner)																																																	
Disminuir el contenido de O/W a la salida de PIAS3 a valores ≤ 30 ppm O/W, nos representa un 46 % menos del valor del promedio de la concentración de Sal. PIAS 3.	Miembros Repsol YPF S.A / AESA: G. Palma, O. Peña, A. Peze, Recorredores Zona Sur (AESA) Miembros GE: J. F. Soria, G. Racioppi, D. Mondejar, W. Perez, J. Sepúlveda.																																																	



imagination at work

FIGURA 4

Step B - Develop Team Charter

DMAIC

Función de cada uno de los miembros del Proyecto

Roles de los Miembros del Equipo - ARMI Tool					
	A = Aprobación	R = Recursos	M = Miembros	I = Informante	
Miembros	Definir	Medir	Analizar	Mejorar	Controlar
Palma, Gustavo	A	A	A	A	A
Mondejar, Damián	A	A	A	A	A
Scattolo, Pedro	R	R	R	R	R
Perez, Walter	M	M	M	M	M
Racioppi, Gustavo	M	M	M	M	M
Soria, Fernando	M	M	M	M	M
Gómez, Sony	M	M	M	M	M
Peña, Oscar	M	M	M	M	M
Peze, Ariel	M	M	M	M	M
Sepúlveda, Jorge	I	I	I	I	I
Recorredores zona Sur	I	I	I	I	I



imagination at work

FIGURA 5

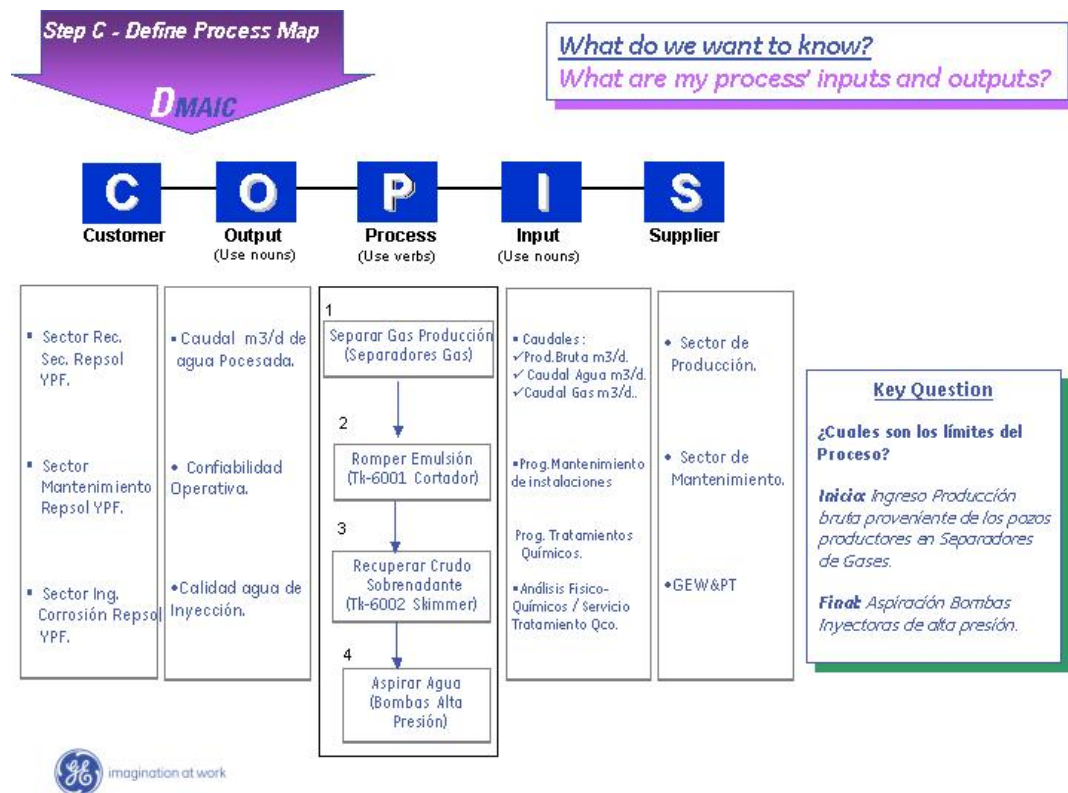


FIGURA 6

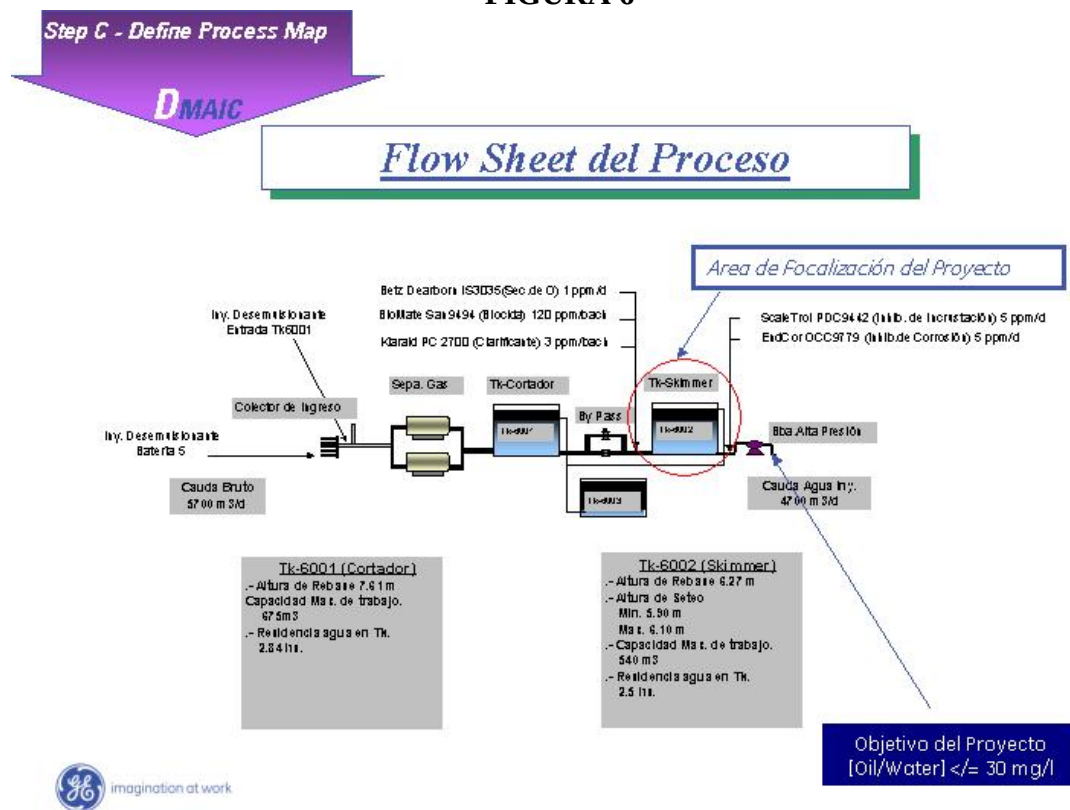


FIGURA 7

Step 1 - Select the CTQ characteristic

DMAIC

QFD "Casa de la calidad"

Con el objetivo de identificar las características que influyen en la meta buscada, se desarrolla una casa de calidad o QFD.

CASA DE CALIDAD		Importance	PARAMETROS DE CALIDAD							
			ppm de TSS	Col/ml BRS	ppm o/wr	ppm SH2	ppm Fe (T)	ppm O2 (Disuelto)	Alta concentración de gas	TOTAL
Project CTQ's	Aumentar la producción de petróleo	5	1	1	5	1	1	1	1	55
	Disminuir problemas de inyección	4	5	5	5	5	5	5	5	140
	Minimizar impacto ambiental negativo	5	4	3	5	4	3	3	3	125
	Calidad de agua de inyección	3	5	5	5	5	5	5	5	105
										0
										0
										0
										0
Total Customer Score			60	55	85	60	55	55	55	

Nota:

Aquí podemos ver la característica (Resaltada) que más influyen en el objetivo deseado y en las cuales enfocaremos nuestro proyecto.



FIGURA 8

Step 1 - Select the CTQ characteristic

DMAIC

QFD "Casa de la calidad"

Con el objetivo de identificar las características que influyen en la meta buscada, se desarrolla una casa de calidad o QFD.

CASA DE CALIDAD		Importance	VARIABLES OPERATIVAS						TOTAL
			Aumentar eficiencia del separador de gas	Optimizar dosis de desemulsificante	Dosificación de clarificante al Tk6002	Optimizar frecuencia de rebase de Tk 6002	Mantener seteo del Tk-6002 lo más alto posible		
Project CTQ's									0
									0
	Disminuir el contenido de o/w de salida de PIA S3 a valores de especificación. <= 30 ppm	5	1	3	4	5	5		90
									0
									0
									0
									0
Total Customer Score			5	15	20	25	25	0	

Nota:

Aquí podemos ver la característica (Resaltada) que más influyen en el objetivo deseado y en las cuales enfocaremos nuestro proyecto.



FIGURA 9

Step 2 - Define Performance Standards

DMAIC

Step 3 - Validate the Measurement System

DMAIC

Current Performance Standards	
Discrete or Continuous Data?	Continuos
Operational Definition of the Project "Y"	"O/W" es la concentración de emulsión de petróleo contenida en el agua de inyección.
Unit	ppm
LS	30 ppm
LI	N/A
Target	15 ppm

Data Collection Plan for O/W

Se muestrea rutinariamente al menos una vez al día, de Lunes a Viernes en válvula de muestreo de salida de Tk-6002 durante 5 meses.

Número de muestras: 100

Procedimiento Análisis **ASTM D6810-02**: Extracción con Solvente (Tipo B) y Medición Espectrofotométrica (Long. Onda: 500 nm)

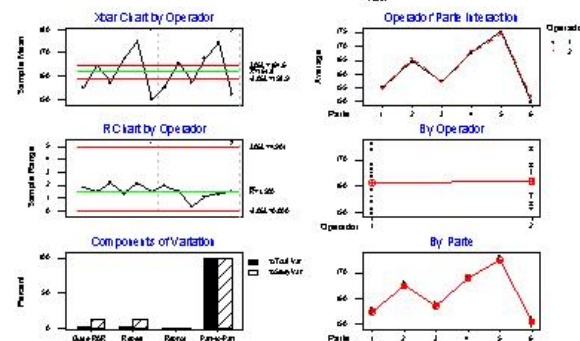


FIGURA 10

Validación del Sistema de Medición

Source	%Contribution	%Study Var
Total Gage R&R	1.42	11.91
Repeatability	1.42	11.91
Reproducibility	0.00	0.00
Operator	0.00	0.00
Part-To-Part	98.58	99.29
Total Variation	100.00	100.00

Gage R&R (ANOVA) for Medición



Conclusiones:

• El sistema de medición de O/W es aceptable en términos de repetitividad y reproductibilidad. Hay apenas un 1.42% de error debido a la metodología de medición.



FIGURA 11

Step 4 - Establish Process Capability

DM*A*IC

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DESEMPEÑO ACTUAL DE PROCESO

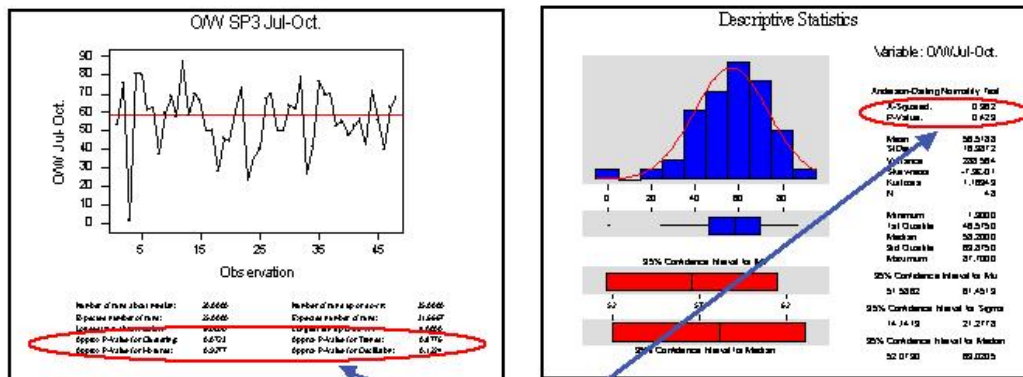
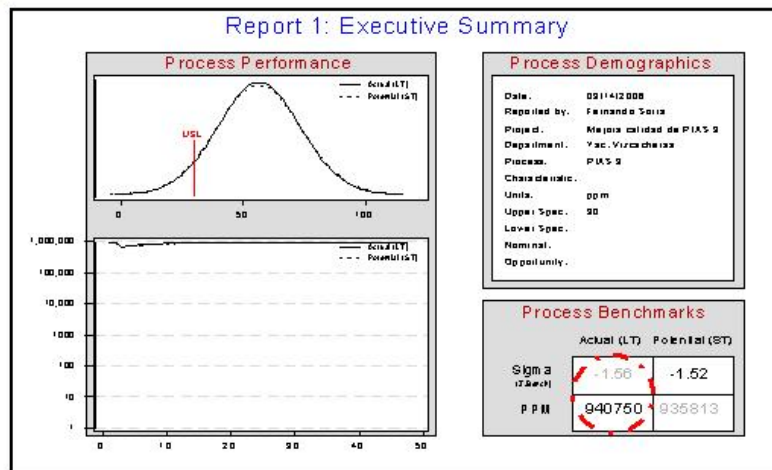


FIGURA 12

Step 4 - Establish Process Capability

DM*A*IC

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DESEMPEÑO ACTUAL DE PROCESO

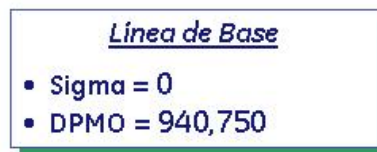


Capacidad Actual de Proceso

- Sigma Base = - 0.06 ~ 0
- DPMO Base = 940.750



FIGURA 13



Mejorar 50% el nivel actual de DPMO

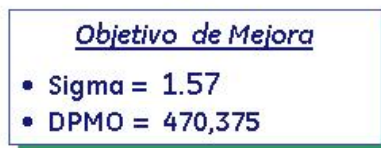
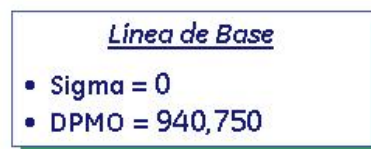


FIGURA 14



Mejorar 50% el nivel actual de DPMO

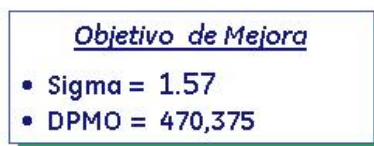


FIGURA 15

Step 5 - Define Performance Objectives

DMAIc

What do we want to know?

How good am I today?

How good can I get?

OBJETIVOS DE DESEMPEÑO:

• El objetivo primario del proyecto se centra en mantener un agua de calidad constante, fundamentalmente en lo que respecta a la concentración de petróleo en agua a la salida de la Planta PIAS 3. Se busca a través de la aplicación de mejoras en el proceso, cumplir con el target ([O/W] <= 30 ppm).

• **Beneficios asociados :**

Se entiende que con la calidad de agua especificada se lograrán los siguientes beneficios asociados:

- ✓ Recuperación de petróleo contenido en el agua de inyección, que se sumará a la producción de la batería.
- ✓ Disminución en los costos por mantenimiento de instalaciones de superficie como de fondo.
- ✓ Optimizar en los costos por intervenciones de pozos inyectoros.
- ✓ Mayor confiabilidad en el sistema, manteniendo su inyectividad y cumpliendo con el programa de inyección previsto.
- ✓ Se minimizarán los paros de pozos productores, debido a problemas de inyección. Disminuyendo las pérdidas de producción por tal caso.

Beneficio estimado en: 250.000 U\$S/Año



FIGURA 16

Step 6 - Identify Variation Sources

DMAIc

Identificamos la fuente de la Variación

¿Cuáles son las variables que nos impiden alcanzar nuestra meta?

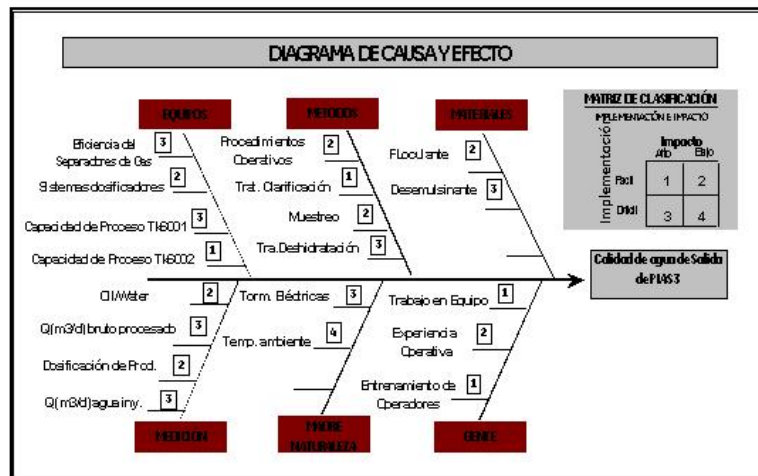


FIGURA 17

Step 7 - Screen Potential Causes

DMA/IC

Seleccionamos las potenciales causas de la variación (X's Vitales)



X's Vitales Seleccionadas

- **Capacidad de proceso del Tk 6002:**
 - Frecuencia de desborde.
 - Nivel del tanque.
- **Tratamiento de clarificación:**
 - Dosis de producto químico



FIGURA 18

Step 7 - Screen Potential Causes

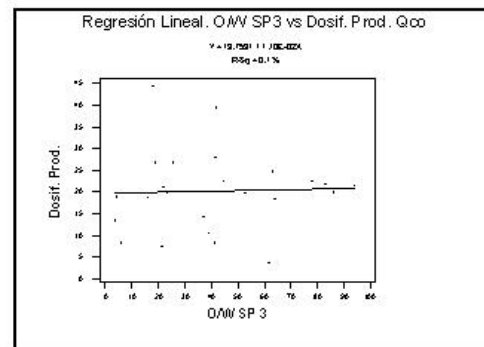
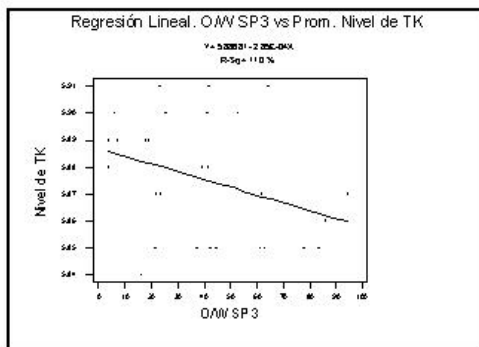
DMA/IC

Verificación de las X's Seleccionadas

Para que la $Y(x)$ sea función de las X's seleccionadas, el valor de $R-Sq > 80\%$.
Dicho valor se obtiene realizando una Regresión Lineal.

Nivel de TK 6002 $R-Sq = 11.0\%$

Dosif. de Prod. Química $R-Sq = 0.1\%$



Las X's Seleccionadas:

No se observa una correlación significativa entre O/W y nivel de Tk & dosis de producto



FIGURA 19

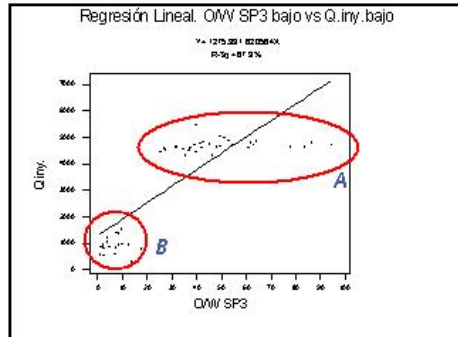
Step 8 - Discover Variable Relationships

DMAIC

Verificación de las X's Seleccionadas

Para que la Y (x) sea función de las X's seleccionadas, el valor de $R-Sq > 80\%$.
Dicho valor se obtiene realizando una Regresión Lineal.

Caudal de Inyección $R-Sq = 67.9\%$



Análisis ANOVA

One-way Analysis of Variance

Analysis of Variance for Qiny.

Source	DF	SS	MS	F	P
Evento	1	176991808	176991808	1958.20	0.000
Error	55	4971182	90385		
Total	56	181962990			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	(*)
alto	38	4648.4	298.9	
bajo	19	910.4	304.1	(*)

Pooled StDev = 300.6

Debemos analizar esta X' separando los procesos Alto Caudal y Bajo Caudal para verificar la relación de éstos con la Y' del proyecto.



FIGURA 20

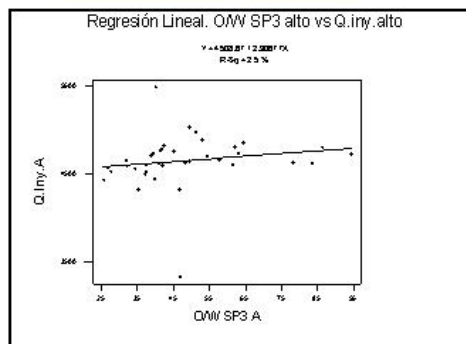
Step 8 - Discover Variable Relationships

DMAIC

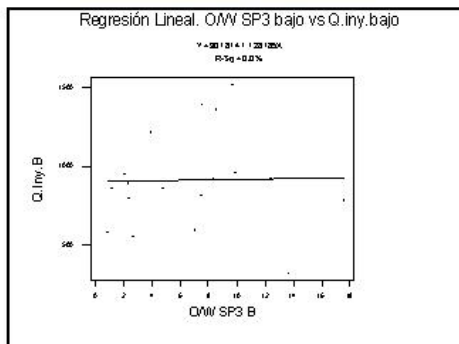
Optimización de las X' Vitales

Identificadas ya las X' Vitales, es necesario conocer los valores óptimos de éstas para lograr el "Objetivo del Proyecto"

Caudal de Iny. Alto $R-Sq = 2.5\%$



Caudal de Iny. Bajo $R-Sq = 0.0\%$



La correlación no es significativa entre O/W y los caudales de inyección de la planta para los periodos de alto y bajo caudal



FIGURA 21

Step 8 - Discover Variable Relationships

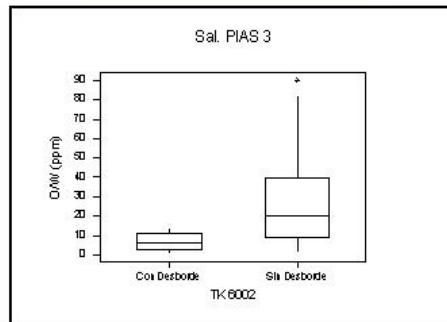
DMAIC

Optimización de las X' Vitales

Identificadas ya las X' Vitales, es necesario conocer los valores óptimos de éstas para lograr el "Objeto del Proyecto"

Análisis de Desborde del TK 6002

Correlación entre Desborde del TK y O/W



One-way Analysis of Variance

Analysis of Variance for O/W (ppm)

Source	DF	SS	MS	F	P
TK 6002	1	2942	2942	6.99	0.010
Error	100	42111	421		
Total	101	45052			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
Con Desb	8	6.51	4.44	(---+---+---+)
Sin Desb	94	26.49	21.24	(---+---+---+)

Pooled StDev = 20.52

Se puede observar que hay una notable disminución de la Y (x) tanto en la media como en la variabilidad del parámetro cuando se realiza el desborde del TK 6002.



FIGURA 22

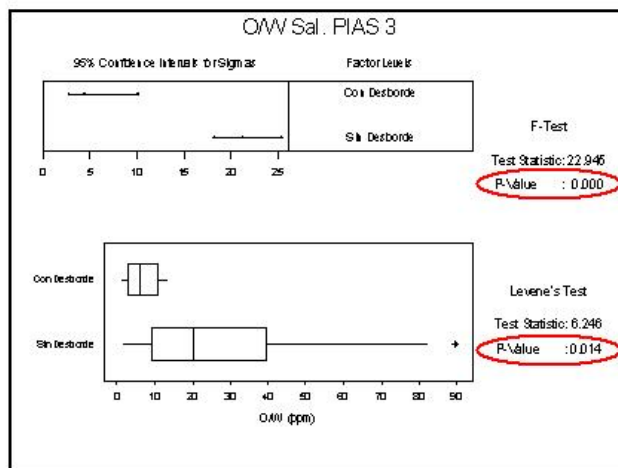
Step 8 - Discover Variable Relationships

DMAIC

Optimización de las X' Vitales

Identificadas ya las X' Vitales, es necesario conocer los valores óptimos de éstas para lograr el "Objeto del Proyecto"

Correlación ANOVA entre Desborde del TK 6002 y O/W Sal. PIAS 3



Se puede concluir que esta variable nos afecta positivamente en nuestra Y (x), ya que el valor de P-Value es < 0.05, esto significa que cuando desborden el TK 6002 hay un 95% de probabilidad que disminuyan los valores de O/W a la salida de PIAS 3 a valores menores de lo especificado.



FIGURA 23

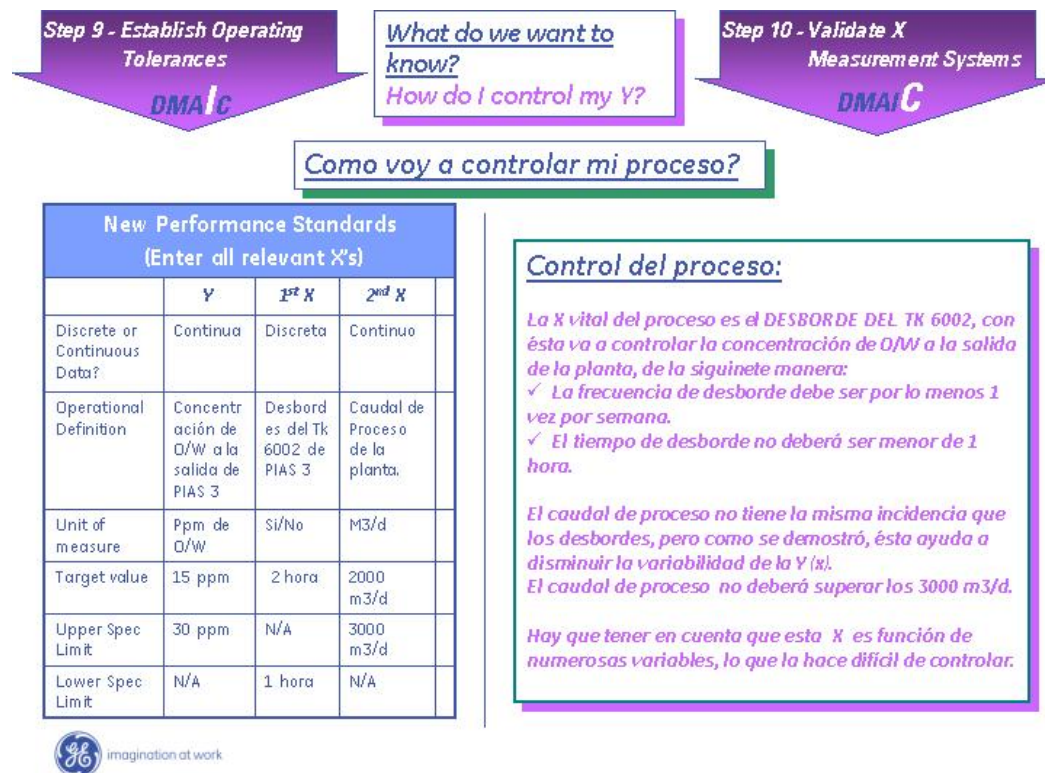


FIGURA 24

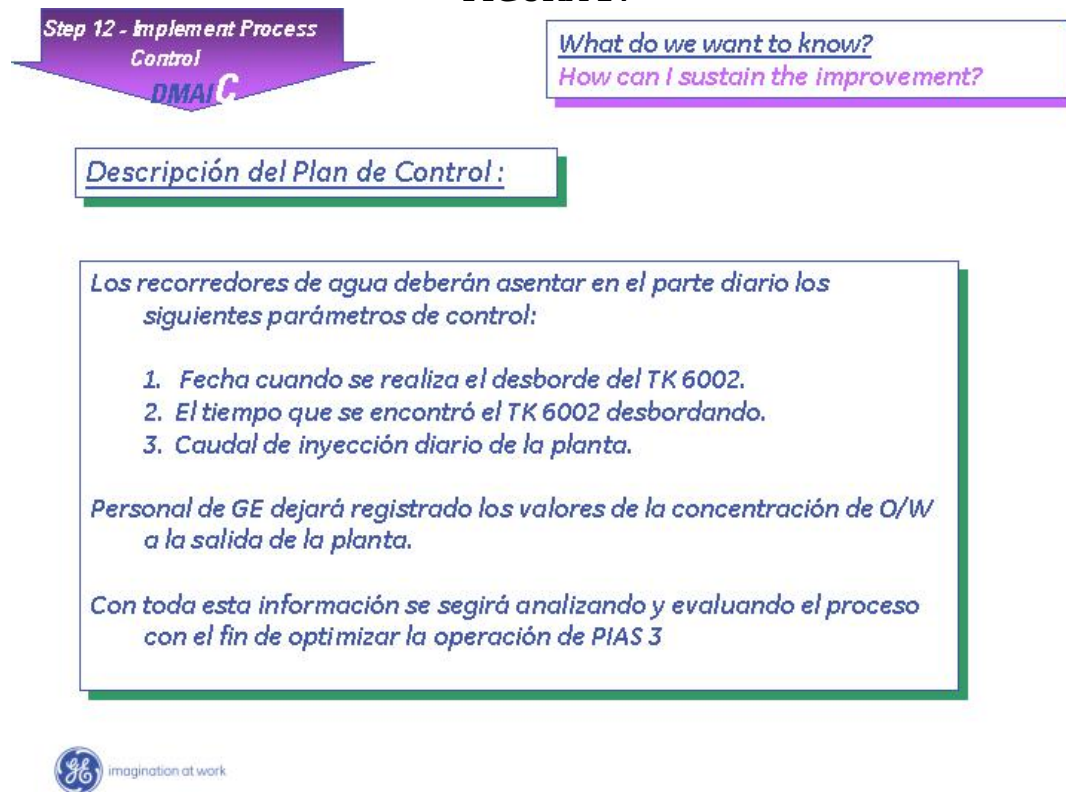


FIGURA 25