



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

**“Aplicación de la metodología DMAIC en una empresa de
cementos con enfoque en el incremento del desempeño del
laboratorio de control de calidad”**

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN MEJORAMIENTO DE PROCESOS

Presentada por:

Edwin Fernando Flores Alvarado

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2021

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme la fortaleza y sabiduría para culminar esta meta de mi vida, a mi director de proyecto el Ph.D. Marcos Buestan B., a la empresa donde laboro por brindarme la facilidad para realizar este proyecto, a mis compañeros del laboratorio de control de calidad y especialmente a mi familia por ser el pilar fundamental de mi vida.

DEDICATORIA

Todo el esfuerzo dedicado para culminar este proyecto va dedicado a mis hijas, mi esposa, mis padres, mis hermanos y mis sobrinos que me apoyaron incondicionalmente.

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

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

Marcos Buestan B., Ph.D.
DIRECTOR DE PROYECTO

María López S., M.Sc.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este proyecto de titulación, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

Edwin Fernando Flores Alvarado

RESUMEN

El presente proyecto consistió en un estudio para el mejoramiento del porcentaje de desempeño del laboratorio de control de calidad evaluado bajo la puntuación ZSCORE, mediante la aplicación de la metodología para resolución de problemas DMAIC, la cual consta de 5 fases definir, medir, analizar, mejorar y controlar.

La empresa objeto de este estudio es una organización privada dedicada a la producción, distribución y comercialización de cemento, hormigón, prefabricados, y otras soluciones de la construcción, generando una propuesta integral para sus clientes.

Para garantizar la calidad de sus productos la fábrica cuenta con un laboratorio de control de calidad donde se realizan los ensayos físicos químicos que permiten evaluar la calidad de sus productos. Debido a las exigencias del mercado y la necesidad de mejorar constantemente los procesos, el laboratorio de control de calidad se ha sometido a una evaluación de su desempeño para lo cual se empleó la puntuación ZSCORE como la variable de medición.

El objetivo del proyecto es plantear mejoras que permitan incrementar el porcentaje del desempeño del laboratorio de control de calidad del 76.77% al 78.64%, mediante la aplicación de la metodología de resolución de problemas DMAIC.

Lo primero que se realizó fue recolectar información y datos que permitan emplear la metodología DMAIC, la primera fase de definición consistió en establecer el equipo de trabajo y declarar el problema y objetivo mediante el Project Charter, en la fase de medición mediante un plan de recolección de datos se realizó la estratificación del problema, con lo cual se definió el problema enfocado y la capacidad del proceso para conocer su situación actual, en la fase de análisis mediante herramientas que permiten determinar la causa raíz de los problemas como son la lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, matriz de causa y efecto y la matriz 5 ¿Por qué?, se identificaron las causas raíz de nuestros problemas enfocados, en la fase de mejora se implementan las soluciones descubiertas para abordar las causas raíz, se realiza una evaluación de estas mejoras para determinar si se alcanzaron los objetivos planteados, finalmente en la fase de control se estableció un plan de control y un plan de reacción con el propósito de mantener estos resultados y mejoras en el tiempo.

Posterior a la implementación de las mejoras establecidas mediante la aplicación de la metodología DMAIC se logró incrementar el porcentaje del desempeño del laboratorio de 76.77% a 80.8% por encima de la meta establecida que era del 78.64%.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL	II
ABREVIATURAS	IV
SIMBOLOGÍA.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCION	1
1.2 Objetivos General y Específicos.....	4
1.2.1 Objetivo General:	4
1.2.2 Objetivos Específicos:	4
1.3 Justificación de la metodología	4
1.4 Alcance del Proyecto	6
1.5 Restricciones.....	6
1.6 Marco teórico.....	6
1.6.1 Seis Sigma	6
1.6.2 Mejora Continua	7
1.6.3 DMAIC.....	7
1.6.4 Análisis Causa raíz.....	7
1.6.5 Ensayo de aptitudes.....	8
CAPÍTULO 2	12
2. METODOLOGIA	12
2.1 DEFINIR	12
2.1.2 Declaración del problema	12
2.1.2 Diagrama SIPOC.....	15
2.1.3 Establecimiento de la línea base y objetivo SMART	16
2.1.4 Establecimiento del equipo de trabajo	18
2.1.5 Project Chárter	19
2.2 MEDIR	20
2.2.1 Plan de recolección de datos	20
2.2.2 Estratificación.....	21
2.2.3 Declaración enfocada del problema	23
2.2.4 Análisis de capacidad actual del proceso	26
2.3 ANALISIS.....	29
2.3.1 Causas Potenciales.....	29
2.3.2 Jus do it	33
2.3.3 Matriz de causa y efecto	35
2.3.4 Plan de verificación de causas.....	40
2.3.4 Determinación de la causa raíz Matriz 5 ¿Por qué?.....	52
CAPITULO 3	55

3. MEJORA Y CONTROL	55
3.1 Mejora	55
3.1.1 Generar soluciones para la causa raíz.....	55
3.1.2 Evaluación de soluciones.....	56
3.1.3 Planeación e implementación de soluciones.....	58
3.1.4 Resultados de la implementación de las soluciones.....	65
3.1.5 Análisis de capacidad del proceso después de las mejoras implementadas	70
3.2 Control.....	75
3.2.1 Check list de análisis de relevancia.....	75
3.2.2 Plan de control	76
3.2.3 Plan de reacción.....	76
CAPITULO 4	78
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
4.1 Conclusiones	78
4.2 Recomendaciones	79
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ABREVIATURAS

HE	Alta resistencia inicial
IP	Puzolánico
GU	Uso general
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control
PHVA	Planear, hacer, verificar y actuar
ACR	Análisis causa raíz
ISO	International Organization for Standardization
ASTM	American Society for Testing and Materials
C3S	Silicato tricálcico
SMART	Specific, Measurable, Attainable, Relevant, Time-Bound
KPI	Key Performance Indicators
Go&See	Ir y Mirar
M:325	Malla número 325

SIMBOLOGÍA

H	Hora
%	Porcentaje
cm ² /g	Centímetros cuadrados por gramo
\$	Dólar
σ	Desviación estándar
G	Estadístico de Grubbs
PPM	Partes por millón
PPK	Índice de potencia del proceso
H ₀	Hipótesis nula
H ₁	Hipótesis alterna
N°	Número

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Mecanismo para evaluación de ensayos de aptitud.....	13
Figura 2.2 Desempeño del laboratorio de control de calidad correspondiente al periodo enero-mayo 2021.....	14
Figura 2.3 Esquema de herramienta 3W+2H para declaración del problema.....	15
Figura 2.4 Grafica de línea base para el % de desempeño del laboratorio de control de calidad.....	17
Figura 2.5 Project Chárter	19
Figura 2.6 Diagrama de Pareto por analista con calificación inferior a 78.64%	21
Figura 2.7 Diagrama de Pareto por variable de análisis con # de veces de zscore inferior a 3	22
Figura 2.8 Resultados del ensayo del retenido en malla 325 para el mes de enero 2021	23
Figura 2.9 Resultados del ensayo del retenido en malla 325 para el mes de abril 2021	23
Figura 2.10 Gráfica de probabilidad para los valores de Zscore de los diferentes análisis	27
Figura 2.11 Gráfica de control para datos individuales	28
Figura 2.12 Capacidad del proceso para ZSCORE	29
Figura 2.13 Diagrama de Ishikawa para la alta variación del ensayo del Blaine	30
Figura 2.14 Diagrama de Ishikawa para la alta variación en los resultados de fluorescencia de rayos x	31
Figura 2.15 Diagrama de Ishikawa para la alta variación en los resultados de difracción de rayos x	32
Figura 2.16 Diagrama de Ishikawa para la alta variación en el ensayo del retenido en la malla N°325	33
Figura 2.17 Resumen de datos obtenido en Minitab de la prueba de 2 varianzas para el plan de verificación de causas N°1	41
Figura 2.18 Gráfica de cajas para verificación de la causa de la dificultad visual del nivel del líquido en el permeabilmetro	42
Figura 2.19 Resumen de datos obtenido en Mini Minitab de la prueba de 2 varianzas para el plan de verificación de causas N°2	45
Figura 2.20 Gráfica de cajas para la causa falta de estandarización en la preparación de muestras analizadas por fluorescencia de rayos X	46
Figura 2.21 Resumen de datos obtenido en Mini Minitab de la prueba de 2 varianzas para el plan de verificación de causas N°3	48
Figura 2.22 Grafica de cajas para la causa falta de estandarización en la preparación de muestras analizadas por difracción de rayos X	49
Figura 2.23 Manómetro sin calibración	51
Figura 2.24 Malla sobresaturada vs malla nueva	51
Figura 3.1 Matriz de priorización de soluciones para la “Y” enfocada N°1	57
Figura 3.2 Implementación de iluminación en el permeabilmetro.....	60
Figura 3.3 Pastilla prensada adecuadamente	61
Figura 3.4 Diferencia del estado del anillo porta muestras del antes vs después	62

Figura 3.5 Implementación de un sistema pulmón de agua para el laboratorio de control de calidad	63
Figura 3.6 Implementación de un manómetro calibrado y certificado para el control de presión del agua	63
Figura 3.7 Charlas sobre limpieza y orden con el personal del laboratorio de calidad	64
Figura 3.8 Resultados de las charlas sobre orden y limpieza (área de lavado de la muestra para el ensayo del retenido)	64
Figura 3.9 Resultados de las charlas sobre orden y limpieza (ubicación e identificación del tamiz)	65
Figura 3.10 Resultados de las charlas sobre orden y limpieza (limpieza de la malla del tamiz)	65
Figura 3.11 Resultados del coeficiente de variación para las evaluaciones de ZSCORE del ensayo del Blaine	66
Figura 3.12 Resultados del coeficiente de variación para las evaluaciones de ZSCORE del ensayo por fluorescencia de rayos X	67
Figura 3.13 Resultados del coeficiente de variación para las evaluaciones de ZSCORE del ensayo por fluorescencia de rayos X	68
Figura 3.14 Resultados de la diferencia del valor máximo menos el valor mínimo para cada mes, del ensayo del retenido en la malla N°325	69
Figura 3.15 Resultados del Antes vs Después del desempeño del laboratorio	70
Figura 3.16 Identificación de la distribución individual	71
Figura 3.17 Identificación de la distribución individual	72
Figura 3.18 Grafica de control para datos individuales	73
Figura 3.19 Análisis de capacidad del proceso Antes vs Después	74
Figura 3.20 Plan de reacción	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Calificación de acuerdo con el valor Z-SCORE	3
Tabla 2 Ejemplo de la metodología de evaluación para cada laboratorio	3
Tabla 3 Resultados de la evaluación del desempeño del laboratorio correspondiente al mes de enero del 2021	4
Tabla 4 Descripción de ensayos y métodos de análisis sujetos a evaluación Z-SCORE	5
Tabla 5 Etapas, objetivos y herramientas a usar en cada etapa DMAIC	7
Tabla 6 Ejemplo de resultados del ensayo Blaine reportado por los participantes....	9
Tabla 7 Ejemplo de determinación de desviación estándar, coeficiente de variación y media	9
Tabla 8 Tabla ejemplo del cálculo del valor de Z-SCORE	10
Tabla 9 Tabla ejemplo de resultados de una evaluación Z-SCORE	11
Tabla 10 Descripción de ensayos sujetos a evaluación Z-SCORE y ubicación en la sección de Anexos	13
Tabla 11 Diagrama SIPOC del proceso de control de calidad del proceso de producción de cemento	16
Tabla 12 Valores de GAP Y Benchmark basado en la gráfica 2.4 de línea base	17
Tabla 13 Equipo de trabajo del proyecto DMAIC	19
Tabla 14 Plan de recolección de datos.....	20
Tabla 15 Tabla de cálculos de resultados de las variables de análisis.....	21
Tabla 16 Formato 5WH1 para la declaración del problema enfocado para el ensayo del Blaine.....	24
Tabla 17 Formato 5WH1 para la declaración del problema enfocado para la variación de resultados en fluorescencia de rayos X.....	24
Tabla 18 Formato 5WH1 para la declaración del problema enfocado para la variación de resultados en difracción de rayos X.....	25
Tabla 19 Formato 5WH1 para la declaración del problema enfocado para el ensayo del retenido en la malla N°325	25
Tabla 20 Plan de acción de restauración de condiciones básicas para en ensayo del retenido en la malla N°325.....	35
Tabla 21 Correlación entre las variables de entrada y de salida	36
Tabla 22 Matriz causa y efecto para el problema enfocado N°1	36
Tabla 23 Matriz causa y efecto para el problema enfocado N°2	37
Tabla 24 Matriz causa y efecto para el problema enfocado N°3	38
Tabla 25 Matriz causa y efecto para el problema enfocado N°4	39
Tabla 26 Plan de verificación de causas para la matriz causa y efecto N°1	40
Tabla 27 Plan de verificación de causas para la matriz causa y efecto N°2	43
Tabla 28 Resultados de análisis sin estandarización en la preparación de muestras para análisis por fluorescencia de rayos x	44
Tabla 29 Resultados de análisis con estandarización en la preparación de muestras para análisis por fluorescencia de rayos x	44
Tabla 30 Plan de verificación de causas para la matriz causa y efecto N°3	46
Tabla 31 Resultados de análisis sin estandarización en la preparación de muestras para análisis por difracción de rayos x	47

Tabla 32 Resultados de análisis con estandarización en la preparación de muestras para análisis por difracción de rayos x	47
Tabla 33 Plan de verificación de causas para la matriz causa y efecto N°4	50
Tabla 34 Matriz 5 ¿Por qué? para el problema enfocado N°1	52
Tabla 35 Matriz 5 ¿Por qué? para el problema enfocado N°2	52
Tabla 36 Matriz 5 ¿Por qué? para el problema enfocado N°3	53
Tabla 37 Matriz 5 ¿Por qué? para el problema enfocado N°3	53
Tabla 38 Tabla resumen de la fase Análisis	54
Tabla 39 Generación de soluciones para las causas raíz	55
Tabla 40 Evaluación de soluciones para la “Y” enfocada N°1	56
Tabla 41 Resumen de soluciones a implementar para las causas raíz	58
Tabla 42 Planificación de la implementación de soluciones mediante 5WH2	59
Tabla 43 Checklist de especificaciones para análisis de relevancia	75
Tabla 44 Plan de Control	76

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCION

La empresa objeto de estudio es una organización privada dedicada a la producción, distribución y comercialización de cemento, hormigón, prefabricados, y otras soluciones de la construcción, generando una propuesta integral para sus clientes. Es una organización que busca la excelencia operativa para lograr una rentabilidad sostenible y un crecimiento en la era actual de la competitividad global.

La fábrica está ubicada en la ciudad de Azogues y su proceso productivo en los últimos años se ha reducido a la etapa de molienda de cemento. En esta etapa se producen 3 tipos de cementos que son: Puzolánico (IP), de uso general (GU) y de alta resistencia inicial (HE). La etapa de molienda de cemento consta de:

- Secado de Puzolana
- Pre molienda de mix (Clinker, yeso y caliza)
- Molino de cemento

Para la fabricación de cemento al molino se alimenta con las diferentes materias primas que son: Clinker, puzolana, yeso, caliza y los diferentes aditivos.

Para garantizar la satisfacción de los clientes, la fábrica dispone del laboratorio de control de calidad donde se evalúa constantemente los diferentes productos terminados, productos en procesos y materias primas, mediante ensayos físicos químicos y análisis de difracción y fluorescencia de rayos X.

El laboratorio de control de calidad está estructurado de la siguiente manera

- Jefe de control
- Supervisor de control de calidad
- 4 Analistas de control de calidad
- 4 Ayudantes de materias primas y muestreo
- Analista de ensayos físicos

Para garantizar la calidad de los diferentes tipos de cementos que se producen, los analistas de control de calidad laboran en horarios rotativos de 06H a 14H; 14H a 22h y 22H a 06H, garantizando de esta manera el monitoreo las 24 horas del día, el analista de control de calidad es la persona responsable de velar que el cemento cumpla las diferentes especificaciones establecidas tanto por las normativas legales vigentes como las especificaciones internas de la organización.

Para ello el laboratorio de control de calidad cuenta con tecnología de punta que permite un efectivo y óptimo análisis físico químico del cemento.

1.1 Planteamiento del problema

La alta dirección con el objetivo de velar por la confiabilidad de los resultados del laboratorio ha tomado la decisión de participar en un Interlaboratorio, ensayo de aptitud que consiste en analizar una misma muestra por diferentes laboratorios, para finalmente comparar y evaluar los resultados. En este interlaboratorio participaron las diferentes plantas de cementos a nivel internacional que pertenecen al grupo empresarial, siendo un total de 6 laboratorios los que participaron en este ensayo de aptitud, la recepción de la información de los diferentes laboratorios, el análisis, la medición y difusión de los resultados de este Interlaboratorio estuvo a cargo del Super Intendente de Control de Calidad de una de las plantas cementeras del grupo corporativo. El grupo corporativo está conformado por 6 plantas cementeras, 3 fábricas de Bolivia, 2 de Ecuador y 1 de Perú.

Para ello se ha determinado que la evaluación del desempeño de los diferentes laboratorios se llevaría a cabo mediante la puntuación Z-SCORE como la variable de tratamiento estadístico que evalúe el desempeño de los mismos. Z-SCORE se entiende como la distancia entre el valor medio y el valor obtenido por un laboratorio en particular en términos de desviación estándar, es decir nos indica a cuantas desviaciones estándar se encuentra nuestro valor obtenido del valor promedio del conjunto de datos.

El grupo corporativo estableció la siguiente metodología para calificar el desempeño de los laboratorios:

- Se reciben los resultados de cada uno de los análisis por los diferentes participantes
- Se determina la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación.
- Se realiza la identificación de datos atípicos para garantizar la consistencia de los datos, esto se hace con la prueba de Grubbs (test para detectar valores atípicos dentro de un conjunto de datos) para un valor crítico con un nivel de confianza del 95%
- Se evalúa el valor z-score para cada análisis
- Se establece para cada análisis una calificación (definida por el grupo corporativo) de acuerdo con la tabla 1:

Tabla 1 Calificación de acuerdo con el valor Z-SCORE

Z-SCORE ENTRE	CALIFICACION
0 a 0.5	5
0.5 a 1.0	4
1.0 a 1.5	3
1.5 a 2.0	2
2.0 2.5	1
Descartado o mayor a 3	0

Fuente propia

- Se realiza una sumatoria de las puntuaciones de todos los análisis objetos a evaluación y se califica con relación a 100% como se observa en la siguiente tabla 2:

Tabla 2 Ejemplo de la metodología de evaluación para cada laboratorio

EVALUACION DE LABORATORIO X		
TIPO DE ANALISIS	Z-SCORE OBTENIDO	CALIFICACION OBTENIDA
Análisis A	0.45	5
Análisis B	0.75	4
Análisis C	0.4	5
Análisis D	1.3	3
TOTAL		17
Calificación Obtenida		85%

Fuente propia

Transcurrido un tiempo de alrededor de 8 meses, en el cual el laboratorio de control de calidad de la empresa lleva participando en el Interlaboratorios anteriormente mencionado, se ha visto la necesidad de evaluar el desempeño del laboratorio de manera interna, tomando esta puntuación Z-SCORE como variable para medir el desempeño de cada analista de control de calidad y como laboratorio en sí.

Al realizar la evaluación del desempeño se pudo observar que el nivel del laboratorio no es el esperado y que se tiene variación en los resultados entre los diferentes análisis realizados por los diferentes integrantes del laboratorio. Esto significa que, para determinado análisis o ensayo, se tiene sesgo entre los resultados de una misma muestra analizada por los diferentes analistas, lo cual puede ocurrir por un inadecuado procedimiento, falta de capacitación, equipos mal calibrados o no calibrados, errores de repetibilidad o de reproducibilidad ya sean de los equipos o del analista.

Es así como la gerencia operativa preocupada por garantizar la confiabilidad de los resultados de los análisis del laboratorio de control de calidad ha determinado realizar el presente estudio de mejora, para ello se ha definido al problema de la

siguiente manera: El promedio del desempeño del laboratorio en el mes de enero del 2021 es del 79.11%, cuando la meta de desempeño del laboratorio es de mínimo 82%.

Este valor obtenido para el laboratorio de calidad de 79.11% obedece a la metodología anteriormente indicada, la meta de 82% como valor mínimo para el laboratorio fue establecida por la gerencia operativa.

La tabla 3 muestra los resultados obtenidos en la evaluación del desempeño para el mes de enero del 2021

Tabla 3 Resultados de la evaluación del desempeño del laboratorio correspondiente al mes de enero del 2021

VARIABLE	S		CALIFICACION															
	Prom	SD	Analista A	Analista B	Analista C	Analista D	Analista E	Z SCORE A	Z SCORE B	Z SCORE C	Z SCORE D	Z SCORE E	Analista A	Analista B	Analista C	Analista D	Analista E	
SiO2	33.26	0.183	33.319	33.13	33.53	33.28	33.06	0.30	-0.73	1.46	0.09	-1.12	5	4	3	5	3	
CaO	42.93	0.199	42.846	42.84	43.11	42.679	43.15	-0.40	-0.43	0.93	-1.23	1.13	5	5	4	3	3	
MgO	1.07	0.016	1.084	1.066	1.09	1.077	1.05	0.67	-0.47	1.05	0.23	-1.48	4	5	3	5	3	
SO3	2.364	0.006	2.371	2.363	2.37	2.358	2.36	1.13	-0.24	0.96	-1.09	-0.75	3	5	4	3	4	
BLAINE	4757.40	49.354	4832	4720	4780	4743	4712	1.51	-0.76	0.46	-0.29	-0.92	2	4	5	5	4	
M:325	4.58	0.809	3.4	5.1	5.2	5.14	4.07	-1.46	0.64	0.76	0.69	-0.63	3	4	4	4	4	
C3S	37.94	0.861	38.7	38.57	37.98	36.53	37.9	0.89	0.74	0.05	-1.63	-0.04	4	4	5	2	5	
CALCITA	11.42	0.743	11.7	10.2	11.6	12.2	11.4	0.38	-1.64	0.24	1.05	-0.03	5	2	5	3	5	
PZ D2	31.05	0.767	30.04	31.95	30.49	31.35	31.4	-1.31	1.18	-0.72	0.40	0.46	3	3	4	5	5	
CALIFICACION FINAL INDIVIDUAL													75.556	80	82.222	77.778	80	
CALIFICACION DEL LABORATORIO																		79.111

Fuente: Propia

1.2 Objetivos General y Específicos

1.2.1 Objetivo General:

Incrementar el promedio del desempeño del laboratorio mediante la aplicación de herramientas Seis Sigma (DMAIC) y principios de manufactura esbelta.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Definir la situación actual de desempeño del laboratorio de control de calidad
- Identificar las variables significativas que afectan el desempeño del laboratorio.
- Implementar y evaluar los resultados de las posibles mejoras que permitirán un mayor desempeño del laboratorio
- Disminuir la desviación estándar y coeficiente de variación de los análisis físicos químicos realizados por los diferentes integrantes del laboratorio.

1.3 Justificación de la metodología

En el presente estudio se aplicó herramientas Seis Sigma (DMAIC) y principios de manufactura esbelta debido a la necesidad de incrementar el desempeño y confiabilidad en los análisis del laboratorio de control de calidad. Para ello este estudio se enfocó en

los analistas de control de calidad y en determinados ensayos físicos químicos que se mencionan en la siguiente tabla 4:

Tabla 4 Descripción de ensayos y métodos de análisis sujetos a evaluación Z-SCORE

Ensayos físicos químicos seleccionados para evaluación			
Símbolo	Descripción	Unidad de medida	Método de análisis
SiO ₂	Oxido de Silicio	%	Fluorescencia de rayos X (pastilla prensada)
CaO	Oxido de Calcio	%	Fluorescencia de rayos X (pastilla prensada)
MgO	Oxido de Magnesio	%	Fluorescencia de rayos X (pastilla prensada)
SO ₃	Trióxido de Azufre	%	Fluorescencia de rayos X (pastilla prensada)
BLAINE	Superficie Especifica	cm ² /g	ASTM C204
M:325	Retenido en Malla 325	%	ASTM C430
C3S	Silicato Tricálcico	%	Difracción de rayos X
CALCITA	Mineral formado por CaCO ₃	%	Difracción de rayos X
PZ	Puzolana	%	Difracción de rayos X
LOI	Perdidas al Fuego	%	ASTM C114

Fuente propia

Los ensayos físicos químicos descritos en la tabla anterior son los seleccionados para evaluación Z-SCORE, los mismos fueron seleccionados por la Super Intendencia de Calidad y Procesos en conjunto con el jefe y supervisor del laboratorio de control de calidad, el motivo por el cual se seleccionó estos análisis fue la importancia de los mismos para el control del proceso pues analizan las variables que impactan directamente en la calidad del producto, en la optimización del proceso productivo y que tienen impacto directo en el costo de fabricación.

De la misma manera se seleccionó a los analistas de control de calidad y al analista de ensayos físicos para la evaluación de los ensayos de aptitud, Los analistas de control de calidad son 4 personas que laboran en turnos rotativos y un analista de ensayos físicos químicos quien labora en horario de 6:00 a 14:30, para esta investigación se les asignaron letras de la A a la E para representarlos y proteger su identidad, Dichos analistas son los responsables del monitoreo y control de estas variables mencionadas anteriormente, controlan el producto en proceso así como el producto final.

Una vez demostrada la validez de esta metodología la misma podrá ser replicada en el resto de los integrantes del laboratorio y las diferentes marchas analíticas que se llevan a cabo en el mismo.

Como resultado de una revisión bibliográfica se encontró un trabajo de investigación donde se empleó la metodología Seis Sigma en un laboratorio clínico donde los errores de entrada manual de datos habían aumentado constantemente. En dicho trabajo el

equipo del proyecto de Mejora de la Calidad (QI) de Six Sigma siguió una secuencia de pasos, comenzando con la definición de los objetivos del proyecto, la medición de los errores de entrada de datos para evaluar el rendimiento actual, el análisis de los datos y la determinación de las causas raíz de los errores de entrada de datos. Finalmente, el equipo implementó cambios y medidas de control para abordar las causas fundamentales y mantener las mejoras. Después de iniciar el proyecto Six Sigma, hubo una reducción del 60,5 por ciento en los errores de entrada de datos de 423 errores al mes (es decir, 4,34 Six Sigma) en el primer mes, hasta un promedio de 166 errores / mes (es decir, 4,65 Six Sigma) durante 12 meses. El equipo estimó que el costo promedio de identificar y corregir un error de entrada de datos era de \$16.25 por error. Por lo tanto, la reducción de errores en un promedio de 257 errores por mes durante un año ha ahorrado al laboratorio un estimado de \$ 50,115 al año. De esta manera se muestra que la metodología Seis Sigma es aplicable en laboratorios de control de calidad donde se requiera una mejora (Elbireer Ali; Julie Le Chasseur & Jackson Brooks, 2013)

1.4 Alcance del Proyecto

El enfoque del presente estudio es determinar y abordar las causas raíz que originan la variación en los resultados de los diferentes análisis físicos químicos que se llevan a cabo por los analistas de control de calidad, de manera que se puedan encontrar las soluciones y mejoras a los análisis o ensayos realizados en el laboratorio, las cuales permitirán un mejor desempeño de cada uno de los integrantes del laboratorio, finalmente implementar un adecuado control y monitoreo de los parámetros de evaluación del desempeño con la finalidad de reducir la variabilidad de las especificaciones de calidad al momento de fabricar los diferentes tipos de cemento.

1.5 Restricciones

- Los analistas de control de calidad laboran en turnos rotativos lo que dificultó las reuniones para análisis y evaluación
- La resistencia al cambio siempre será una dificultad al momento de emplear técnicas de mejora
- Excesiva confianza por parte de los analistas del laboratorio ya que cuentan con años de experiencia en sus puestos de trabajo
- Restricción económica para la restauración de las condiciones básicas de operación para diferentes análisis ya que debido a la pandemia los tiempos para la aprobación de órdenes de compra tienen un mayor periodo de demora.

1.6 Marco teórico

A continuación, se define algunos de los conceptos que se emplearon en el presente estudio:

1.6.1 Seis Sigma

Seis Sigma es un planteamiento analítico basado en hechos estadísticamente comprobados con el objetivo de mejorar el buen funcionamiento de las empresas

fabricación, administración, etc., a un coste más bajo y de manera de asegurar la calidad con una fiabilidad del 99,99 % de los productos o servicios destinados a los clientes. El nombre de este método proviene de una herramienta estadística precisa: la desviación estándar que representa la letra griega σ . El Seis Sigma se utiliza en el análisis de un proceso para proporcionar un producto en un intervalo de calidad, dicho de otra forma, sin alejarse más de 3σ del promedio general, que el cliente y la empresa esperan. Así pues, esto permite limitar la variación y los defectos en el proceso (50 minutos, 2016)

1.6.2 Mejora Continua

El concepto de mejora continua está relacionado con el ciclo PHVA o ciclo de Deming, donde se establece que para llevar a cabo un círculo de calidad se define un ciclo que consta de las siguientes etapas: planear, hacer, verificar y actuar. El cual es un ciclo que se repite constantemente y es empleado por muchas de las organizaciones que cuentan con un sistema de gestión de calidad. En resumen, se puede definir como mejora continua a la filosofía que nos lleva a buscar la perfección, para la cual se pueden emplear diferentes técnicas, en el caso de este estudio la técnica que emplearemos será la herramienta para resolución de problemas DMAIC, así como diferentes técnicas que nos permitan determinar la causa raíz de los problemas.

1.6.3 DMAIC

La metodología Six Sigma utilizada para la mejora de procesos es la metodología Definir, medir, analizar, mejorar y controlar, también conocida como DMAIC. Al abordar un problema, la solución resultante aborda la causa raíz. La metodología DMAIC toma un problema que ha sido identificado por la organización y utiliza un conjunto de herramientas y técnicas de manera lógica para llegar a una solución. Las soluciones resultantes minimizarán o eliminarán el problema (Shankar Rama, 2009).

Tabla 5 Etapas, objetivos y herramientas a usar en cada etapa DMAIC

ETAPAS DMAIC	OBJETIVOS	HERRAMIENTAS
Definir	Definición del problema y el objetivo general, elaboración del Project Chárter e identificar las Ctq tree	SIPO, VOC, PROJECT CHARTER, CTQ TREE
Medir	recopilar información y evaluar la situación actual mediante el análisis de capacidad y estabilidad del proceso.	Diagrama de Pareto, Mapeo de procesos, Graficas de control
Analizar	Determinar las variables significativas, mediante el uso de las diferentes herramientas de calidad	Luvias de ideas, diagrama de causa efecto, Pareto, análisis de las 5 porque, modos de falla del proceso y análisis de efectos
Mejorar	Implementación de las mejoras que se diseñen para el proceso	Diseño de experimentos, Pruebas de hipótesis, análisis de capacidad confirmatorios
Controlar	Seguimiento del proceso, manteniéndolo bajo control estadístico	Graficas de control

Fuente: Propia

1.6.4 Análisis Causa raíz

El análisis de causa raíz (ACR o RCA en sus siglas en inglés) es un análisis usado para la resolución de problemas que intenta evitar la recurrencia de una incidencia o defecto. El análisis de causa raíz se utiliza para investigar cuáles son las causas que han originado un determinado problema o incidencia, de manera que se pueda

actuar sobre ellas evitando así su recurrencia en el futuro (Poveda Jorge & Guardiola Mireia, 2019).

A continuación, se detalla las técnicas más usadas para un análisis causa raíz:

- Lluvia de ideas
- Los 5 porqués.
- Diagrama de Ishikawa.
- Análisis de los modos de falla y efectos (AMEF).
- Diagrama de Pareto.

1.6.5 Ensayo de aptitudes

Según la norma ISO 17043:2011 define al ensayo de aptitud como la evaluación del desempeño de los participantes con respecto a criterios previamente establecidos mediante comparaciones interlaboratorios.

1.6.5.1 Cálculo de las estadísticas de desempeño

De acuerdo con la Norma ISO 17043:2011 Los resultados de los ensayos de aptitud tienen que ser transformados en estadísticas de desempeño para facilitar la interpretación y permitir la comparación con los objetivos definidos. El propósito es medir la desviación con respecto al valor asignado de manera que permita la comparación con los criterios de desempeño.

Para ello se ha establecido al valor Z-Score como el estadístico que nos permitirá evaluar el desempeño del laboratorio, así como de cada uno de sus integrantes, de tal forma que será el valor Z-Score la variable que indica directamente cuando el laboratorio necesita mejorar el desempeño para garantizar así la confiabilidad de sus resultados.

La fórmula del valor Z-SCORE esta dado por la siguiente formula:

$$z = \frac{x - X}{S}$$

Donde:

Z: puntaje Z-Score

x: valor reportado por cada laboratorio

X: Promedio de los resultados

S: Desviación estándar de los resultados.

A continuación, se demuestra con un ejemplo como calcular el valor de Z-SCORE y su interpretación, para este ejemplo tomamos el ensayo de la determinación de la superficie específica (BLAINE) como la variable de estudio.

1.6.5.2 Evaluación del ensayo de aptitud de la variable BLAINE

Para este ejemplo seguiremos los pasos descritos en 1.1

- Se receipta los resultados de cada uno de los análisis por los diferentes participantes

Ejemplo:

Tabla 6 Ejemplo de resultados del ensayo Blaine reportado por los participantes

VARIABLE	Analista A	Analista B	Analista C	Analista D	Analista E
BLAINE	4832	4720	4780	4743	4712

Fuente: Propia

- Se determina la media, la desviación estándar, el coeficiente de variación, valor inferior y valor superior del conjunto de datos.

Ejemplo:

Tabla 7 Ejemplo de determinación de desviación estándar, coeficiente de variación y media

VARIABLE	Prom	SD	CV	L.I.	L.S.	Analista A	Analista B	Analista C	Analista D	Analista E
BLAINE	4757.40	49.354	0.010	4708.05	4806.75	4832	4720	4780	4743	4712

Fuente: Propia

- Se realiza la identificación de datos atípicos para garantizar la consistencia de los datos, esto se hace con la prueba de Grubbs (test para detectar valores atípicos dentro de un conjunto de datos) para un valor crítico con un nivel de confianza del 95%

Para esta prueba de Grubbs usamos la siguiente formula:

$$G = \frac{x - X}{S}$$

Donde:

G: estadístico de Grubbs

x: dato extremo del conjunto de datos (mayor o menor)

X: Promedio del conjunto de datos

S: desviación estándar del conjunto de datos

En el presente ejemplo los datos extremos son:

Extremo mayor (4832): dando un resultado de $G= 1.51$

Extremo menor (4712): dando un resultado de $G= -0.92$

Con estos resultados observamos en la tabla de Grubbs (Anexo 1), para un número de observaciones de $n=5$ y un nivel de confianza de 95% que todo valor superior a 1.672 sería un dato atípico, en el presente ejemplo ningún dato sería considerado como atípico.

- Se calcula el valor de z-score para cada participante de acuerdo con la siguiente formula:

$$z = \frac{x - X}{S}$$

Donde:

Z: puntaje Z-Score

x: valor reportado por cada laboratorio

X: Promedio de los resultados

S: Desviación estándar de los resultados.

Ejemplo:

Tabla 8 Tabla ejemplo del cálculo del valor de Z-SCORE

VARIABLE	Prom	SD	CV	L.I.	L.S.	Analista A	Analista B	Analista C	Analista D	Analista E	Z SCORE A	Z SCORE B	Z SCORE C	Z SCORE D	Z SCORE E
BLAINE	4757.40	49.354	0.010	4708.05	4806.75	4832	4720	4780	4743	4712	1.51	-0.76	0.46	-0.29	-0.92

Fuente: Propia

- Se establece para cada análisis una calificación (definida por el grupo corporativo) de acuerdo con la tabla 1

Obteniendo para el ejemplo de estudio las siguientes puntuaciones:

Tabla 9 Tabla ejemplo de resultados de una evaluación Z-SCORE

Participante	Resultado del análisis	Z-SCORE Obtenido	Calificación
Analista A	4832	1.512	2
Analista B	4720	-0.758	4
Analista C	4780	0.458	5
Analista D	4743	-0.292	5
Analista E	4712	-0.920	4

Fuente: Propia

Interpretación de resultados del ejemplo:

Como se puede observar en la tabla 9, las mejores calificaciones obtenidas son las de 5 puntos (calificación máxima), correspondientes a los analistas C y D, de estos 2 resultados el mejor análisis es el resalto con color amarillo, el mismo indica que el resultado del análisis tiene un estadístico Z-SCORE= -0.292, lo cual significa que este valor se encuentra a -0.292 desviaciones estándar del valor de referencia (en este caso el valor promedio de 4757.4)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGIA

La metodología que se usó para el desarrollo del presente proyecto es la metodología de resolución de problemas DMAIC. A continuación, se menciona las actividades que se llevaron a cabo en cada una de las fases de esta metodología:

Definir: Durante esta fase se identifica el problema y el objetivo general, se elabora el diagrama SIPOC y finalmente se presenta el Project Chárter.

Medir: En esta etapa mediante el uso de gráficas de control y análisis de capacidad de procesos, se determina si el mismo se encuentra bajo control estadístico y si el mismo es capaz de cumplir con las especificaciones.

Análisis: Durante esta fase se determina la causa raíz del problema mediante el uso del diagrama de Ishikawa, lluvia de ideas y análisis de las 5 por qué.

Mejora: En esta fase se implementan las mejoras que se planteen para el proceso, así como el uso de herramientas de calidad y principios de manufactura esbelta que permiten lograr la mejora. Adicionalmente se realizará la validación de las mejoras.

Control: En esta etapa mediante el uso de gráficas de control, se realiza el seguimiento del proceso para mantenerlo bajo control estadístico.

2.1 DEFINIR

En esta primera etapa de la metodología se define el problema a resolver mediante la herramienta 3W+2H la cual consiste en responder a las preguntas ¿QUE? ¿DONDE? ¿CUÁNDO? ¿QUE TANTO? y ¿COMO LO SE?, siendo de vital importancia que la definición del problema cumpla estrictamente las respuestas a estas preguntas, un problema mal planteado puede tener como consecuencia resultados erróneos. Finalmente, en esta etapa se definirá el equipo de trabajo y la variable de respuesta.

2.1.2 Declaración del problema

El problema debe ser definido claramente y debe permitirnos comunicar a otros en forma clara y precisa, para ello una buena declaración del problema debe responder a las siguientes preguntas:

- ¿QUE?: Que es lo que está mal
- ¿DONDE?: En donde se da, donde ocurre el problema
- ¿CUÁNDO?: Debe responder a cuando se suscita el problema
- ¿QUE TANTO?: Debe responder a la extensión del problema, es decir cuanto o tendencia
- ¿COMO LO SE?: Debe responder a que estándar, especificación o indicar que no se cumple.

Es por ello que, para la presente declaración del problema, se tomó la información de las evaluaciones del desempeño del laboratorio de control de calidad para los meses de enero a mayo del 2021.

Es así como una vez recibidas las disposiciones de la gerencia de operaciones de evaluar el desempeño del laboratorio de control de calidad mediante la puntuación ZSCORE, se establece el siguiente mecanismo donde se indica las responsabilidades de las diferentes actividades relacionados con la evaluación de los análisis que se llevan a cabo en el laboratorio.



Figura 2.1 Mecanismo para evaluación de ensayos de aptitud

Fuente: Propia

Cada muestra de cemento que fue objeto de evaluación debe contener los resultados de los análisis físicos químicos, dichos análisis y la ubicación de sus procedimientos en la sección “Anexos”, se describen en la tabla 10.

Tabla 10 Descripción de ensayos sujetos a evaluación Z-SCORE y ubicación en la sección de Anexos

Ensayos físicos químicos seleccionados para evaluación y ubicación de procedimientos en Anexos				
Símbolo	Descripción	Unidad de medida	Método de análisis	Procedimiento ubicado en
SiO ₂	Oxido de Silicio	%	Fluorescencia de rayos X (pastilla prensada)	Anexo 2
CaO	Oxido de Calcio	%	Fluorescencia de rayos X (pastilla prensada)	Anexo 2
MgO	Oxido de Magnesio	%	Fluorescencia de rayos X (pastilla prensada)	Anexo 2
SO ₃	Trióxido de Azufre	%	Fluorescencia de rayos X (pastilla prensada)	Anexo 2
BLAINE	Superficie Específica	cm ² /g	ASTM C204	Anexo 3
M:325	Retenido en Malla 325	%	ASTM C430	Anexo 4
C3S	Silicato Tricálcico	%	Difracción de rayos X	Anexo 5
CALCITA	Mineral formado por CaCO ₃	%	Difracción de rayos X	Anexo 5
PZ	Puzolana	%	Difracción de rayos X	Anexo 5
LOI	Perdidas al Fuego	%	ASTM C114	Anexo 6

Fuente propia

A continuación, se observa los datos de desempeño del laboratorio de control de calidad para los meses de enero, abril y mayo del 2021:

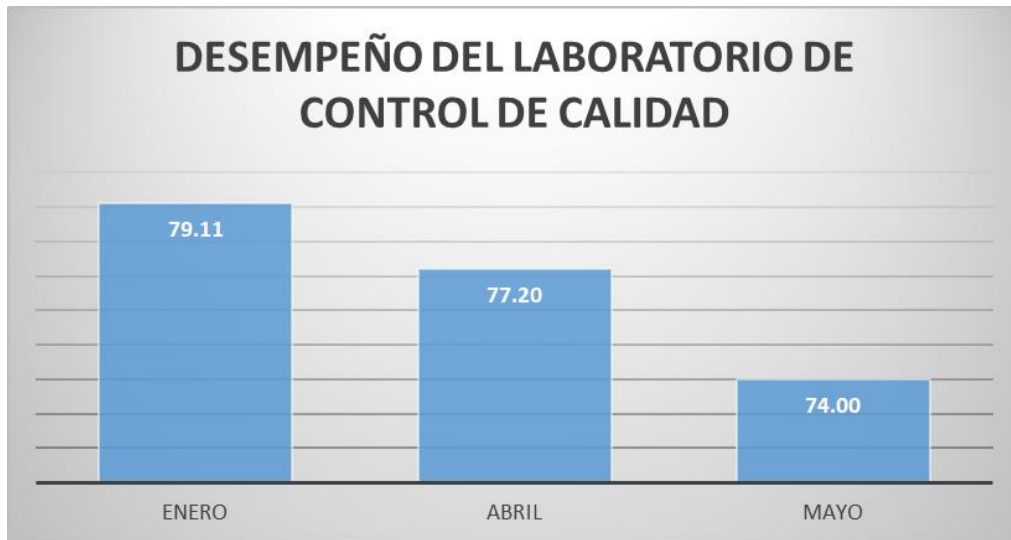


Figura 2.2 Desempeño del laboratorio de control de calidad correspondiente al periodo enero-mayo 2021

Fuente: Propia

Considerando toda la información recopilada se establece la siguiente declaración del problema:

“Bajo promedio de desempeño del laboratorio de control de calidad desde enero 2021 hasta mayo 2021, el promedio del desempeño para este periodo es del 76.77% cuando la meta promedio del desempeño es de mínimo el 82%”

En la figura 2.3, se observa como la declaración del problema cumple con las respuestas a las preguntas de 3W+2H

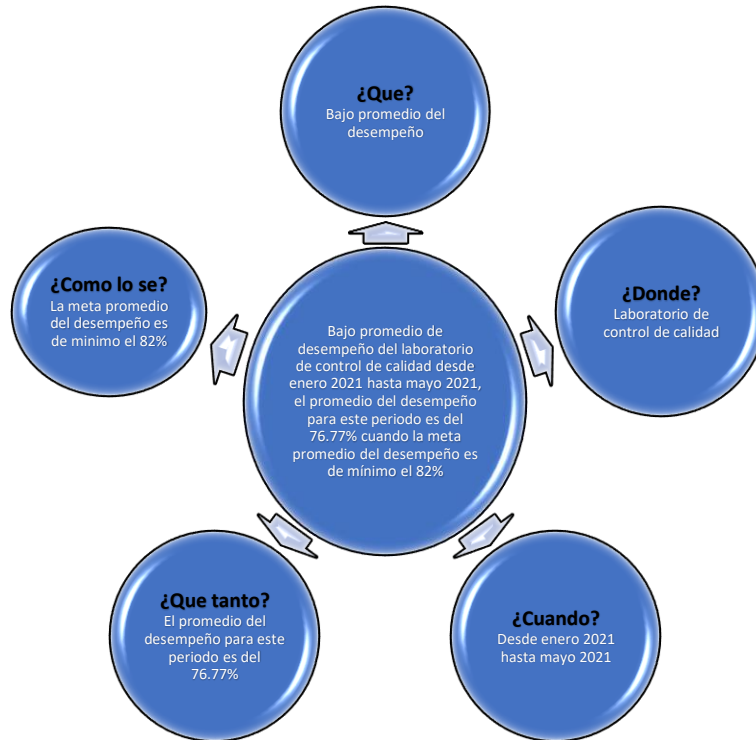


Figura 2.3 Esquema de herramienta 3W+2H para declaración del problema

Fuente: Propia

2.1.2 Diagrama SIPOC

Para la elaboración del diagrama SIPOC se dialogó con la jefatura de control de calidad y el personal del laboratorio para recopilar información del proceso de control de calidad durante la producción de cemento.

Tabla 11 Diagrama SIPOC del proceso de control de calidad del proceso de producción de cemento

DIAGRAMA SIPOC DEL PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD DURANTE LA PRODUCCION DE CEMENTO				
Supplier	Inputs	Process	Outputs	Costumers
Departamento de producción	Plan de Inspección y Ensayo	Revision del plan de inspeccion y ensayo	Muestra testigo analizada	Departamento de producción
	Procedimientos de control de calidad			
	Muestra representativa de la salida del molino de cemento y/o despacho	Toma de muestra a la salida del molino de cemento y/o despacho		
	Equipo de difracción de rayos x D2 PHASER Equipo de fluorescencia de rayos x S8 TIGER	Análisis de los ensayos físicos químicos de la muestra representativa de cemento		
	Tamiz malla N°325			
Departamento de Adquisiciones	Permiabilímetro	Interpretación de resultados	Reporte de resultados en archivo "Registro de resultados de control de calidad" y/o Archivo "Registro de resultados de producto terminado"	Cliente Final
	Destreza de los analistas			
	Archivo "Registro de resultados de control de calidad"	Registrar los resultados de los análisis físicos químicos en el archivo "Registro de resultados de control de calidad" y/o		
	Archivo "Registro de resultados de producto terminado"	Archivo "Registro de resultados de producto terminado"		

Fuente: Propia

Al analizar el diagrama SIPOC se puede concluir que la parte más importante del proceso de control de calidad es el análisis de la muestra para ello es de suma importancia el estado de los equipos, la destreza del analista y el conocimiento de los procedimientos, pues serán estos factores los que permitan garantizar un resultado confiable.

2.1.3 Establecimiento de la línea base y objetivo SMART

Línea Base: El propósito de establecer una línea base es recopilar datos históricos de la variable de respuesta, la cual permitirá definir el objetivo SMART, es decir el objetivo para la resolución del problema planteado. De esta forma se establece la línea base con los datos recopilados de enero a mayo del 2021.

Es importante mencionar que no se cuenta con datos para los meses de febrero y marzo del 2021 debido a que la planta se encontraba en desarrollo de un nuevo producto donde se enfocaron todos los esfuerzos, obligando a dejar temporalmente en pausa la evaluación del ZSCORE para estos meses mencionados, de igual forma es necesario indicar que no se cuenta con datos históricos del año 2020 pues esta evaluación de los ensayos de aptitud se planteó como objetivo del año 2021, siendo un proyecto nuevo de la empresa.

A continuación, se muestra la línea base del proyecto en estudio:

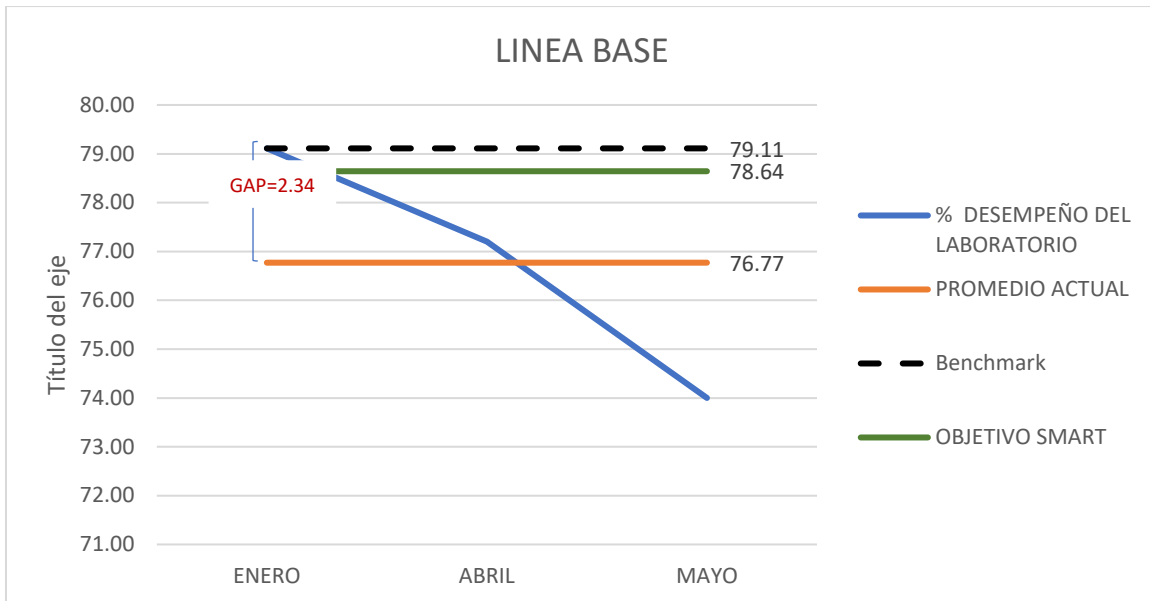


Figura 2.4 Grafica de línea base para el % de desempeño del laboratorio de control de calidad.

Fuente: Propia

De la gráfica 2.4 se puede concluir que el desempeño del laboratorio presenta una tendencia a la baja, obteniendo un promedio de 76.77% para estos 3 meses. Lo que nos lleva a determinar los siguientes valores que nos permitirán establecer nuestro objetivo para la resolución del problema planteado en este proyecto.

Tabla 12 Valores de GAP Y Benchmark basado en la gráfica 2.4 de línea base

	GAP	2.34	
	Benchmark	79.11	
	Promedio	76.77	
Escenarios	Pesimista	Neutro	Optimista
Mejora del GAP	20%	50%	80%
Objetivo	77.24	77.94	78.64

Fuente: Propia

Objetivo SMART: Al momento de establecer el objetivo, el cual atiende al problema planteado se debe asegurar de que este cumpla con las características SMART, es decir:

- **S:** Especifico
- **M:** Medible
- **A:** Alcanzable

- **R:** Realista
- **T:** Se cumpla en un tiempo determinado.

Es así como para la definición de un objetivo SMART necesitamos información que nos permita cumplir con lo anteriormente mencionado, para ello se debe satisfacer los siguientes requerimientos:

- a) Línea base: Establecida en “Figura 2.4”
- b) Valor referencial (benchmark): Es el mejor resultado obtenido durante el proceso

En nuestro caso 79.11%
- c) Determinación del GAP: Diferencia entre el mejor resultado obtenido y el promedio

En nuestro caso 2.34
- d) Establecer el % de reducción del GAP: Para ello se establece 3 escenarios Pesimista indica una reducción del GAP del 20%, Neutro indica una reducción del GAP del 50% y Optimista indica una reducción del GAP del 80%

En nuestro caso se establece un escenario “Optimista” es decir una reducción del GAP del 80%
- e) Determinar el Objetivo SMART: De acuerdo con la Tabla 9, considerando una mejora del GAP del 80% para un escenario Optimista se establece el siguiente objetivo:

Objetivo SMART: “Incrementar el porcentaje de desempeño del laboratorio de control de calidad de 76.77% a 78.64% a partir de julio del 2021”

2.1.4 Establecimiento del equipo de trabajo

Para poder cumplir con todos los lineamientos respecto a la evaluación del desempeño del laboratorio se establece el equipo de trabajo, donde se determina que los principales actores serán las personas evaluadas ya que son ellos los expertos en las diferentes técnicas de análisis, es así como el equipo de trabajo queda conformado de la siguiente manera:

Tabla 13 Equipo de trabajo del proyecto DMAIC

ROL	CARGO
Sponsor (Champion)	Super Intendencia de Control de Calidad
Dueño del proceso	Jefe de Control de Calidad
Líder del equipo y Coach	Supervisor de Control de Calidad
Equipo de trabajo	Analista de Control de Calidad (4) Analista de Ensayos Físicos (1)

Fuente: Propia

2.1.5 Project Chárter

El último paso para culminar con la fase “Definir” del presente proyecto DMAIC es elaborar un resumen donde se presentan los puntos más relevantes de esta etapa, este resumen permite presentar de una forma clara y concisa el problema a resolver, el objetivo, alcance del proyecto, etc.

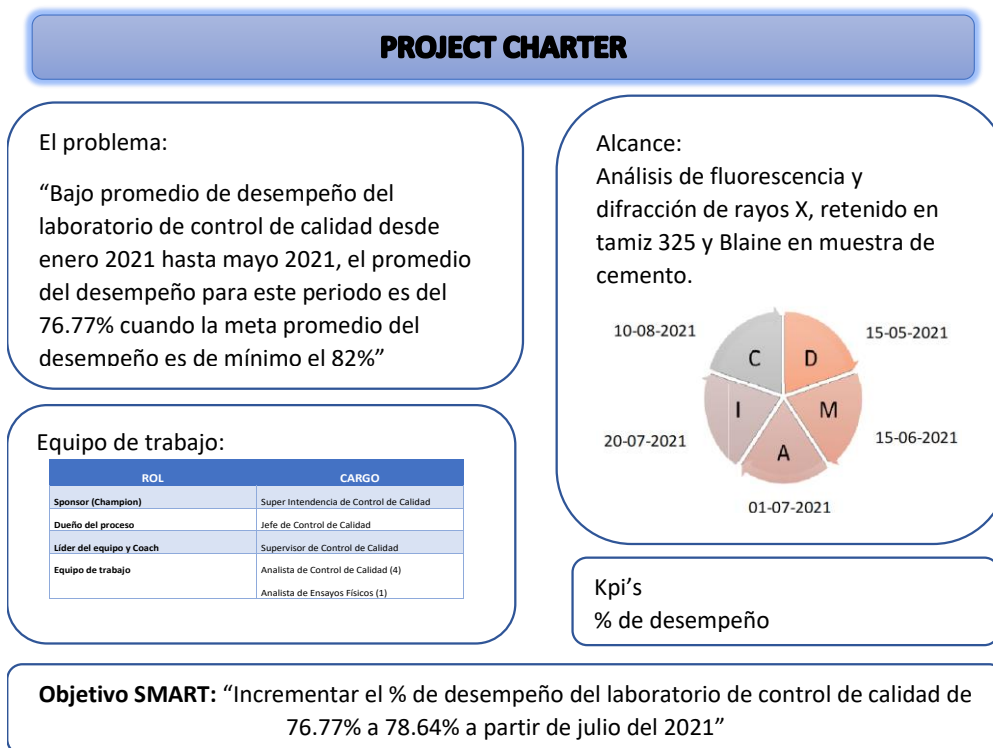


Figura 2.5 Project Chárter

Fuente: Propia

2.2 MEDIR

Durante el desarrollo de esta fase se buscó clarificar las variables de respuesta de manera que podamos ser capaces de definir en forma precisa los problemas que afectan al proceso, se define la capacidad del proceso y si el mismo es capaz de cumplir con las especificaciones. Para ello se realizó las siguientes actividades:

2.2.1 Plan de recolección de datos

Para el desarrollo del programa de evaluación del desempeño del laboratorio se estableció un plan de recolección de datos, los cuales fueron usados para la etapa medir, adicional a estos datos también se usan los registrados por el departamento de control de calidad durante el control del proceso, de esta forma el plan de recolección de datos queda de acuerdo con la tabla 14:

Tabla 14 Plan de recolección de datos

PLAN DE RECOLECCION DE DATOS					
¿Qué?	Tipo de dato	¿Cómo medir?	Factores de estratificación	Muestreo	Donde se registra
Porcentaje de desempeño del laboratorio de control de calidad	continuo	Se determina la calificación ZSCORE para cada variable de análisis y se determina el porcentaje de desempeño	Por analista	Una muestra tomada por el jefe y/o supervisor de control de calidad, la cual es dividida y entregada una parte a cada analista a ser evaluado	Registro "Informe de resultados evaluación ZSCORE"
			Por variable de análisis		

Fuente: Propia

El archivo "Informe de resultados evaluación ZSCORE" se puede visualizar en la sección anexos como "Anexo 7"

En la tabla 15 se observa cómo se obtienen los resultados para cada variable de análisis de una misma muestra.

Tabla 15 Tabla de cálculos de resultados de las variables de análisis

Cálculos de las variables de análisis de una muestra de ensayo									
SiO2	CaO	MgO	SO3	BLAINE	M:325	C3S	CALCITA	PZ D2	LOI
Porción de la muestra que es preparada y analizada en un equipo de fluorescencia de rayos X, el cual emite los resultados de toda la composición química de la muestra				Se toman los datos de temperatura y tiempo de acuerdo al procedimiento del Anexo 3 y con estos datos se observa el resultado del Blaine de acuerdo al Anexo 8 "Tabla para resultados del Blaine"	De acuerdo al procedimiento en el Anexo 4, se pesa la cantidad de muestra que queda retenida en el tamiz de malla N° 325, este peso retenido se multiplica por el factor del tamiz y se multiplica por 100	Porción de la muestra que es preparada y analizada en un equipo de difracción de rayos X, el cual emite los resultados de toda la composición de fases mineralógicas de la muestra			De acuerdo al procedimiento del Anexo 6, se aplica la siguiente formula ((Peso de la muestra antes de calcinar - peso de la muestra calcinada)/Peso de la muestra antes de calcinar)*100

Fuente: Propia

2.2.2 Estratificación

Durante las reuniones de evaluación de resultados del desempeño del laboratorio de control de calidad, en la cual estuvieron presentes el jefe, supervisor y analistas de control de calidad, se pudo observar que existían ciertos análisis que afectaban el desempeño del laboratorio, así como el desempeño individual de cada analista, por lo que se decidió realizar la estratificación por tipo de análisis y por desempeño individual de cada analista, obteniendo lo siguiente:

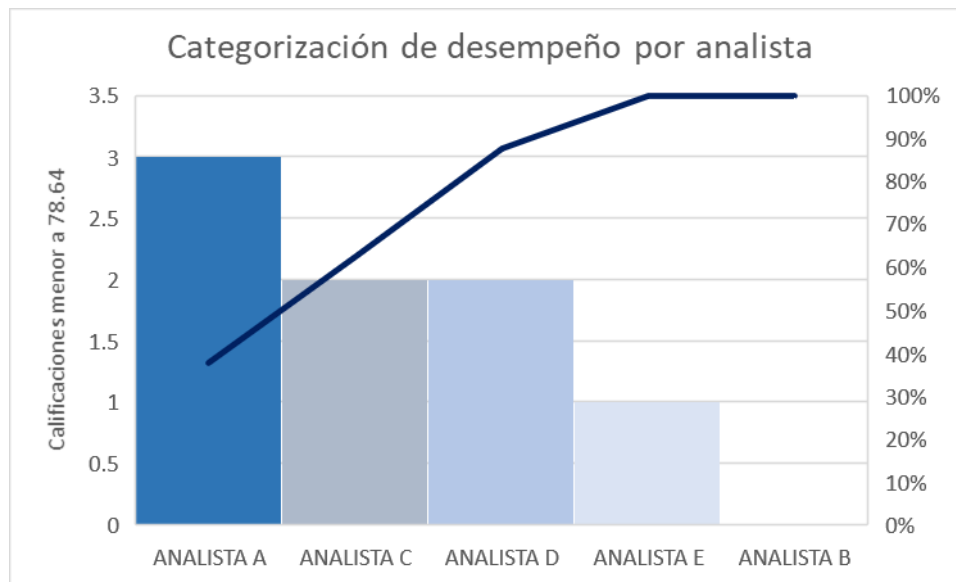


Figura 2.6 Diagrama de Pareto por analista con calificación inferior a 78.64%

Fuente: Propia

En la figura 2.6 se puede observar la categorización de desempeño por analista, para la misma se contabilizó el número de veces que el analista obtuvo una calificación inferior a nuestro objetivo SMART (78.64%) para los meses de enero, abril y mayo, en esta categorización se tomó los resultados reportados de cada analista para los meses mencionados anteriormente, para cada mes el número de análisis realizado por los 5 analistas es el mismo.

Se puede observar en la figura 2.6 que los analistas A, C y D al obtener un bajo rendimiento, representan el 87.5% del total de ocasiones con un desempeño como laboratorio inferior a 78.64%, esto significa que su calificación individual afecta a la calificación como laboratorio.

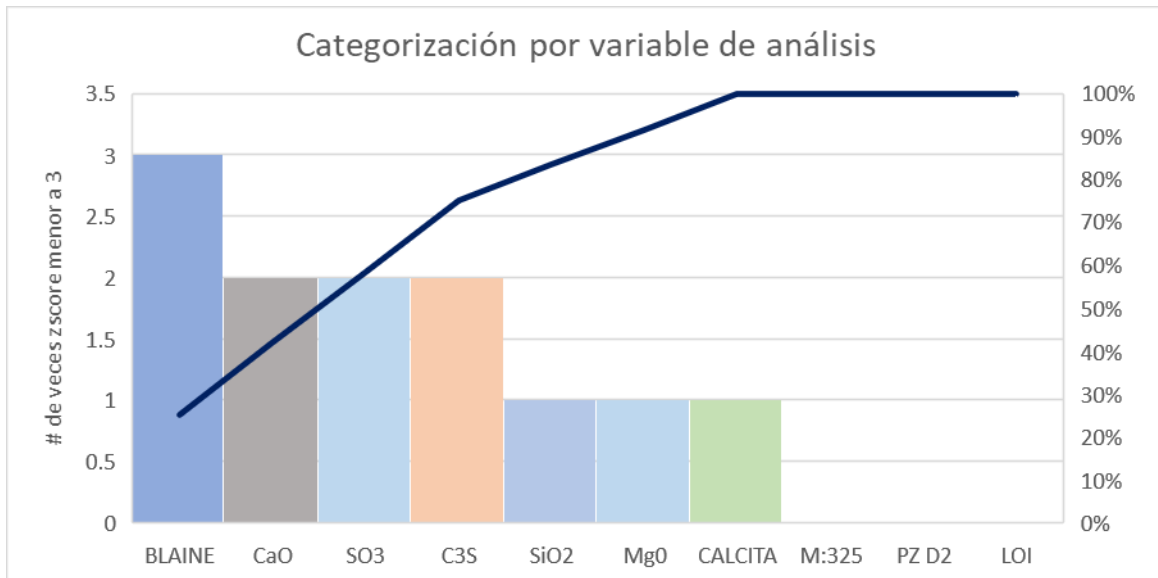


Figura 2.7 Diagrama de Pareto por variable de análisis con # de veces de zscore inferior a 3

Fuente: Propia

De la figura 2.7 se puede concluir que existen análisis que ocasionan un bajo rendimiento en el desempeño del laboratorio, para ello hemos decidido analizar de los diferentes análisis que se evalúan cuales tienen una calificación de Zscore inferior a 3 y el número de veces que se repiten a lo largo de las diferentes evaluaciones mensuales, y como se observa en la gráfica 2.7 que el Blaine, CaO, SO3 y C3S representan el 75% de los análisis con un bajo desempeño. Por lo que de aquí en adelante nos enfocaremos en estos análisis para determinar la causa raíz de obtener una baja calificación.

De igual manera es importante mencionar que el número de análisis para cada variable es el mismo.

2.2.2.1 Consideraciones Especiales

A pesar de que en la sección de estratificación el ensayo del retenido en la malla N° 325 no fue detectado como una causa de análisis, en las reuniones de revisión de resultados del desempeño del laboratorio se ha podido observar que este ensayo no cumple las condiciones establecidas en la norma ASTM C430, la cual especifica que la variación máxima permitida entre operadores para una misma muestra es de $\pm 0.5\%$, lo cual se observa en las figuras 2.8 y 2.9 respectivamente.

Al no cumplir con este punto que es establecido por una norma internacional, este ensayo también será incluido como un problema enfocado.

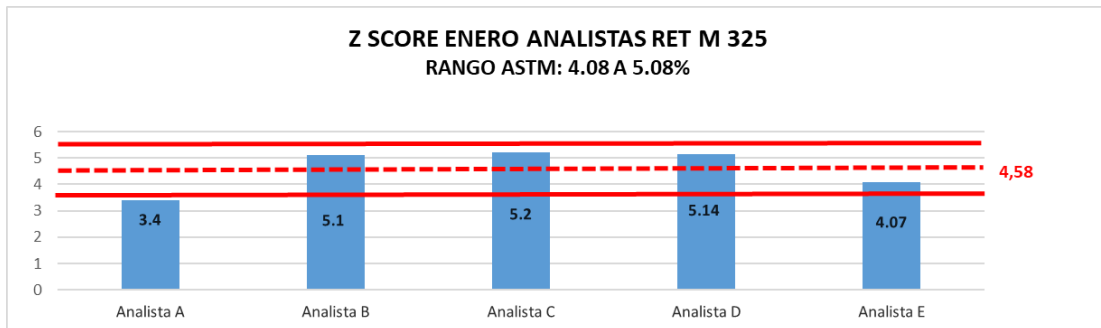


Figura 2.8 Resultados del ensayo del retenido en malla 325 para el mes de enero 2021

Fuente: Propia

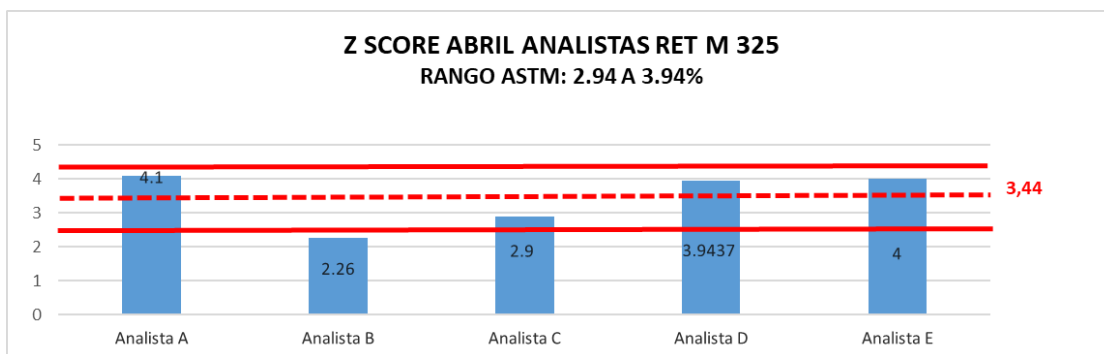


Figura 2.9 Resultados del ensayo del retenido en malla 325 para el mes de abril 2021

Fuente: Propia

Se puede observar en las gráficas 2.8 y 2.9 correspondientes a los meses de enero y abril respectivamente como de un total de 10 resultados, 9 de ellos no cumplen esta especificación, es decir el 90% y por tanto se observa la relevancia de incluir este problema enfocado en la etapa siguiente de análisis.

2.2.3 Declaración enfocada del problema

Con la información de las gráficas 2.6, 2.7, 2.8 y 2.9 procedimos a establecer nuestros problemas enfocados, para lo cual usamos la herramienta 5wH1, de acuerdo con las estratificaciones realizadas y las consideraciones especiales, podemos concluir que nuestro proyecto consta de 4 problemas enfocados los cuales los observaremos a continuación:

Problema enfocado N°1

En la tabla 13 podemos observar el problema enfocado para el ensayo del Blaine

Tabla 16 Formato 5WH1 para la declaración del problema enfocado para el ensayo del Blaine

DECLARACION DEL PROBLEMA (5WH1)	
What ¿Qué?	representa el 25% el bajo desempeño del laboratorio
How ¿Cómo?	error en el ensayo del Blaine
Which ¿De que manera este se da?	variacion en el resultado
When ¿Cuándo?	En los meses de enero, abril y mayo
Where ¿Dónde?	Laboratorio de control de calidad
Who ¿Quién?	Analistas A, C y D

Fuente: Propia

De acuerdo con la información de la tabla 16 nuestra declaración del problema enfocado N°1 quedaría de la siguiente manera:

“Alta variación en el resultado del Blaine en el laboratorio de control de calidad ocasionado por los analistas A, C y D, el cual representa el 25% el bajo desempeño del laboratorio para los meses de enero, abril y mayo del 2021”.

Problema enfocado N°2

Para el caso de los resultados del óxido de calcio (CaO) y el trióxido de azufre se realizará un solo análisis de causa raíz, pues si bien son dos resultados diferentes, estos se obtienen mediante la técnica de fluorescencia de rayos x, que consiste en tomar una porción homogénea de una muestra de cemento, llevarla a la prensa donde se forma una pastilla prensada, la cual se enviará a un equipo de fluorescencia de rayos X, el cual nos emitirá los resultados de composición química de la muestra, en estos resultados obtenemos el porcentaje de CAO, S03, MgO, SiO2, Na2O, k2O, Al2O3, Fe2O3, por lo que se redefinirá esta causa raíz como variación en los resultado de fluorescencia de rayos x,

En la tabla 17 podemos observar el problema enfocado para la variación en los resultados de fluorescencia de rayos X

Tabla 17 Formato 5WH1 para la declaración del problema enfocado para la variación de resultados en fluorescencia de rayos X

DECLARACION DEL PROBLEMA (5WH1)	
What ¿Qué?	representa el 33.33% el bajo desempeño del laboratorio
How ¿Cómo?	en los resultados de fluorescencia de rayos X
Which ¿De que manera este se da?	variación en el resultado
When ¿Cuándo?	En los meses de enero, abril y mayo
Where ¿Dónde?	Laboratorio de control de calidad
Who ¿Quién?	Analistas A, C y D

Fuente: Propia

De acuerdo con la información de la tabla 17 nuestra declaración del problema enfocado N°2 quedaría de la siguiente manera:

“Alta variación en los resultados de fluorescencia de rayos X en el laboratorio de control de calidad ocasionado por los analistas A, C y D, el cual representa el 33.33% el bajo desempeño del laboratorio para los meses de enero, abril y mayo del 2021”.

Problema enfocado N°3

Para el caso del análisis del C3S, el cual es un resultado del análisis de difracción de rayos x, en el que a más del C3S, se obtiene resultados del porcentaje de adición de calicita y puzolana, por lo que le redefiniremos a este problema como alta variación en el resultado de difracción de rayos X.

En la siguiente tabla 18 podemos observar el problema enfocado para la variación en los resultados de difracción de rayos X.

Tabla 18 Formato 5WH1 para la declaración del problema enfocado para la variación de resultados en difracción de rayos X

DECLARACION DEL PROBLEMA (5WH1)	
What ¿Qué?	representa el 16.66% el bajo desempeño del laboratorio
How ¿Cómo?	en los resultados de difracción de rayos X
Which ¿De que manera este se da?	variación en el resultado
When ¿Cuándo?	En los meses de enero, abril y mayo
Where ¿Dónde?	Laboratorio de control de calidad
Who ¿Quién?	Analistas A, C y D

Fuente: Propia

De acuerdo con la información de la tabla 18 nuestra declaración del problema enfocado N°3 quedaría de la siguiente manera:

“Alta variación en los resultados de difracción de rayos X en el laboratorio de control de calidad ocasionado por los analistas A, C y D, el cual representa el 16.66% el bajo desempeño del laboratorio para los meses de enero, abril y mayo del 2021”.

Problema enfocado N°4

En la siguiente tabla 19 podemos observar el problema enfocado para el ensayo del retenido en la malla N° 325

Tabla 19 Formato 5WH1 para la declaración del problema enfocado para el ensayo del retenido en la malla N°325

DECLARACION DEL PROBLEMA (5WH1)	
What ¿Qué?	90% de resultados no cumplen la especificación de la norma ASTM C430
How ¿Cómo?	En el ensayo del retenido en la malla N°325
Which ¿De que manera este se da?	alta variación de los resultados
When ¿Cuándo?	En los meses de enero y abril del 2021
Where ¿Dónde?	Laboratorio de control de calidad
Who ¿Quién?	Analistas de control de calidad

Fuente: Propia

De acuerdo con la información de la tabla 19 nuestra declaración del problema enfocado N°4 quedaría de la siguiente manera:

“Alta variación en el resultado del ensayo del retenido en la malla N°325 en el laboratorio de control de calidad ocasionado por los analistas de control de calidad, los cuales el 90% de resultados no cumplen la especificación de la norma ASTM C430 en los meses de enero y abril del 2021”.

2.2.4 Análisis de capacidad actual del proceso

Para determinar la capacidad actual del proceso y si se cumple los requerimientos del cliente, se han tomado todas las calificaciones ZSCORE para cada análisis durante estos 3 meses de recolección de datos. Para la determinación de la capacidad del proceso es importante seguir una serie de lineamientos los cuales se analizaron paso a paso:

- Los datos recolectados son continuos
- Nuestro límite inferior sería de 4, el cual es el valor que nos permitirá alcanzar nuestro objetivo no se tiene valor máximo ya que mientras más alta sea nuestra calificación para cada análisis, se obtendría un mayor desempeño.
- Se toman todos los datos analizados durante estos 3 meses de recolección de datos
- Al realizar el análisis de distribución con la ayuda del software Minitab se define que nuestros datos no siguen una distribución normal, por lo que el análisis de capacidad de proceso se realiza mediante la “Transformación de Johnson” como se observa en la figura 2.10.

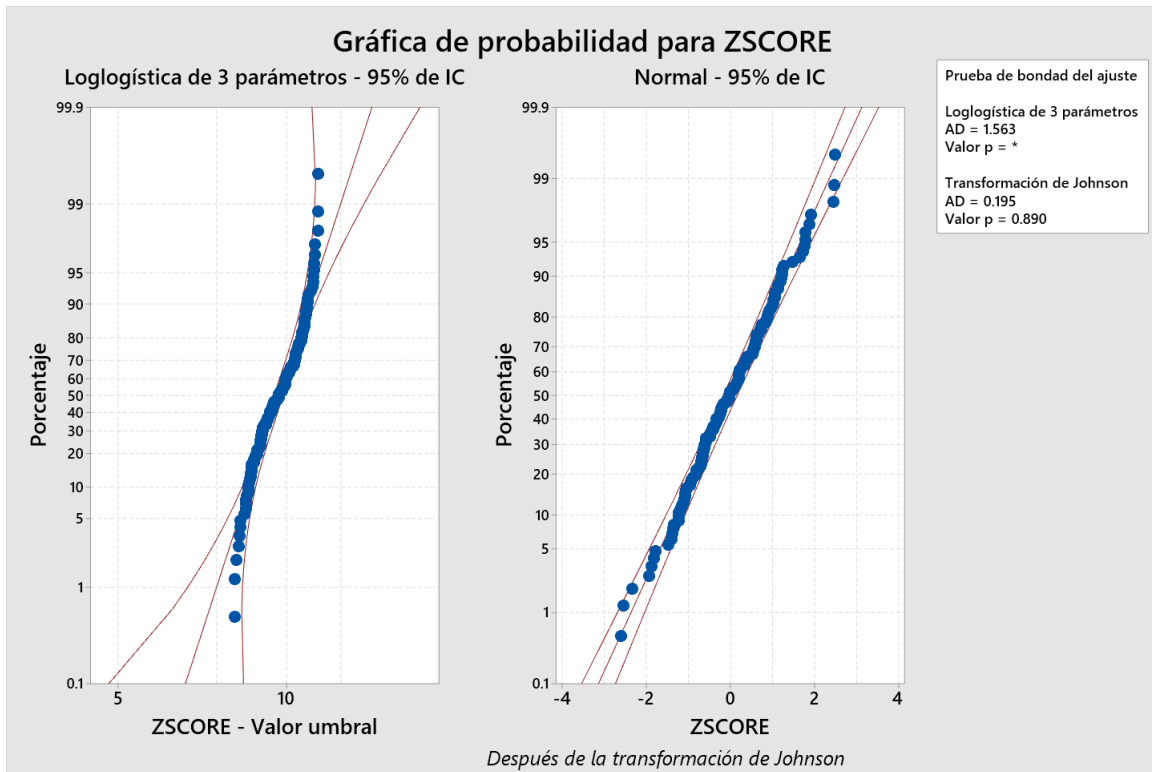


Figura 2.10 Gráfica de probabilidad para los valores de Zscore de los diferentes análisis

Fuente: Propia

Para evaluar si nuestro proceso se encuentra dentro de control se procede a realizar una gráfica de control para datos individuales una vez que los datos han sido transformados.

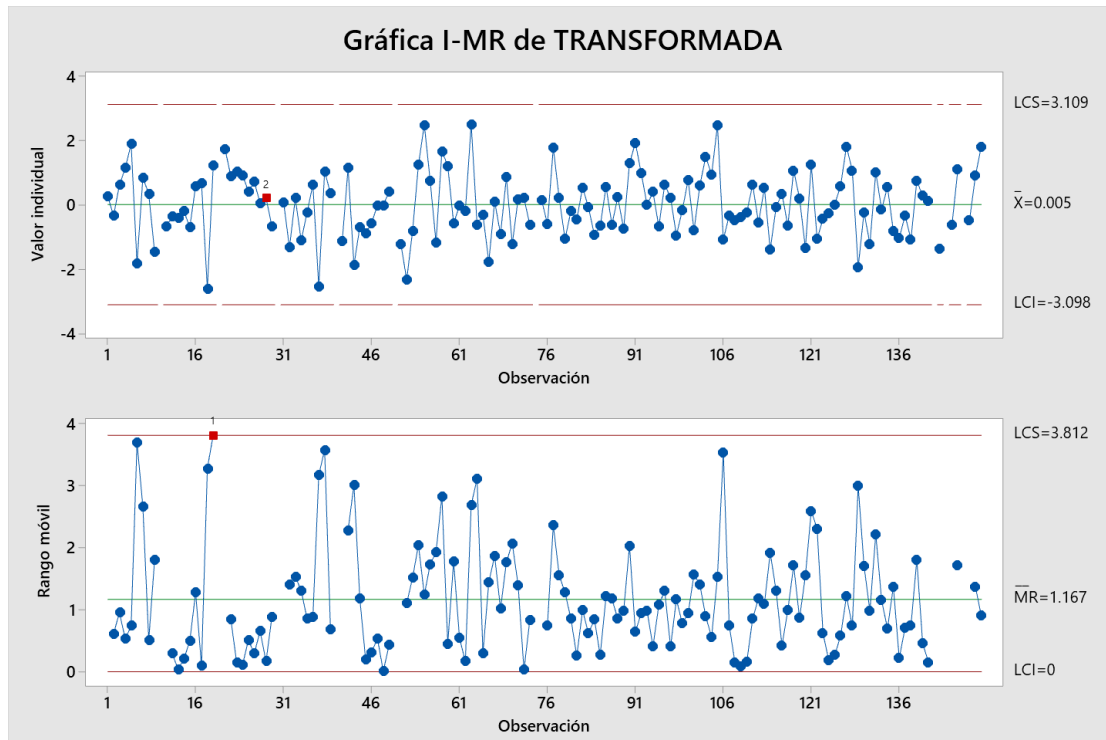


Figura 2.11 Gráfica de control para datos individuales

Fuente: Propia

De la figura 2.11 se puede concluir que el proceso se encuentra fuera de control, pues en la gráfica se observa datos que se salen de los límites y que no cumplen con la propiedad de aleatoriedad. Las causas probables que podrían ocasionar esta falta de estabilidad serían el exceso de confianza de los analistas o la falta de estandarización en ciertos puntos de los procedimientos.

Demostrado que el proceso se encuentra fuera de control no es necesario calcular la capacidad del proceso sin embargo se procederá a determinar el mismo para corroborar que nuestro proceso no es capaz de cumplir con la especificación señalada por la gerencia.

Es así como con la ayuda del software Minitab calculamos la capacidad del proceso de acuerdo con la figura 2.12 que se muestra a continuación:

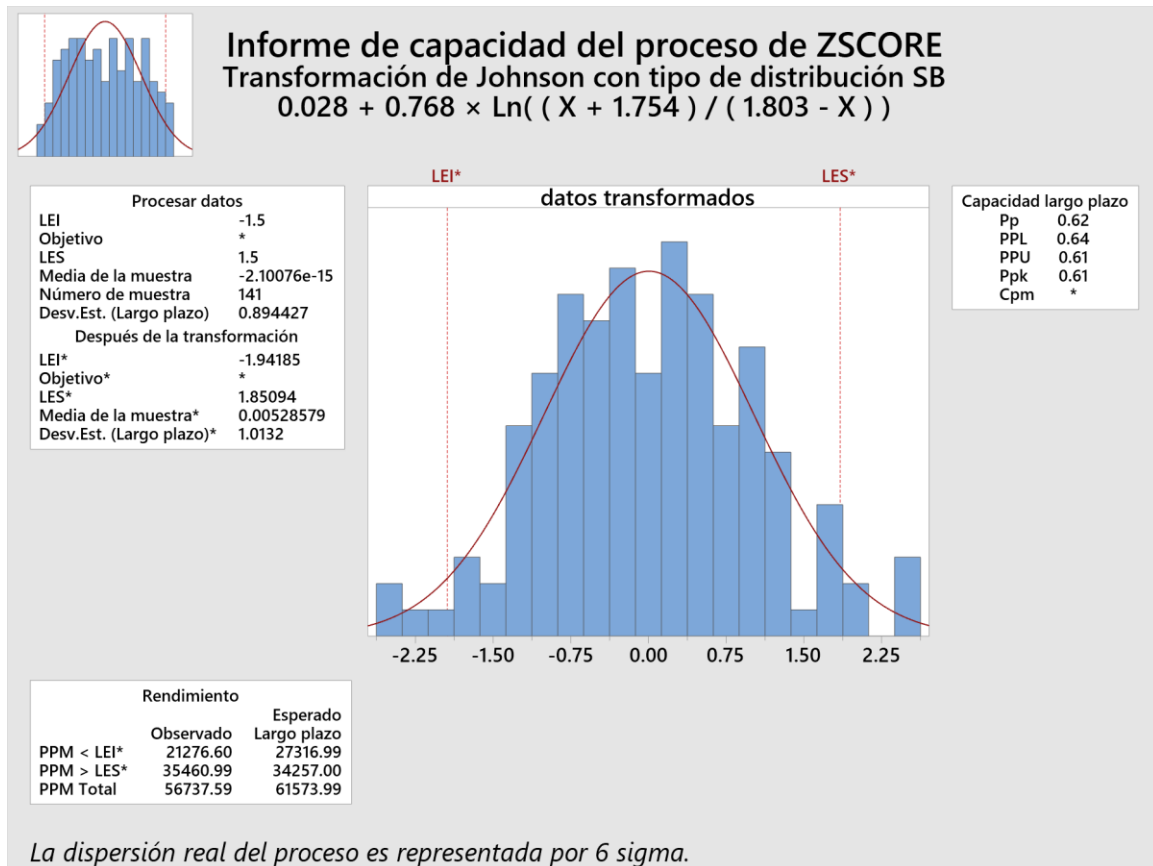


Figura 2.12 Capacidad del proceso para ZSCORE

Fuente: Propia

Como conclusión de la figura 2.12 se puede establecer que el proceso no es capaz, su PPK es de 0.61 lo cual le da una clasificación de “No Adecuado”, para obtener un proceso capaz nuestro PPK debería ser superior a 1.33. Adicional a ello podemos concluir que al existir una similitud entre el valor de Pp y Ppk nuestro problema más grave no es la localización sino la excesiva dispersión.

Además, podemos observar en el gráfico que las partes por millón esperadas fuera de los límites especificados tanto superior como inferior corresponde a 61573.99 es decir el 6.15%.

2.3 ANALISIS

En esta fase de la metodología nos enfocaremos en analizar los problemas enfocados detectados en la fase de medición.

2.3.1 Causas Potenciales

Una vez determinados los problemas que ocurren en la evaluación del desempeño del laboratorio, se analizaron cuáles son las causas potenciales que las originan, para ello se realizó reuniones de revisión y análisis en la cual participaron el jefe, supervisor y analistas de control de calidad, mediante lluvia de ideas las cuales se

fueron plasmando en los diagramas de espina de pescado Ishikawa para cada uno de los problemas enfocados.

2.3.1.1 Diagrama de Ishikawa para el problema enfocado N°1

En la figura 2.13 se muestra el diagrama de Ishikawa para el problema enfocado “Alta variación en el resultado del Blaine ocasionado por los analistas A, C y D”:

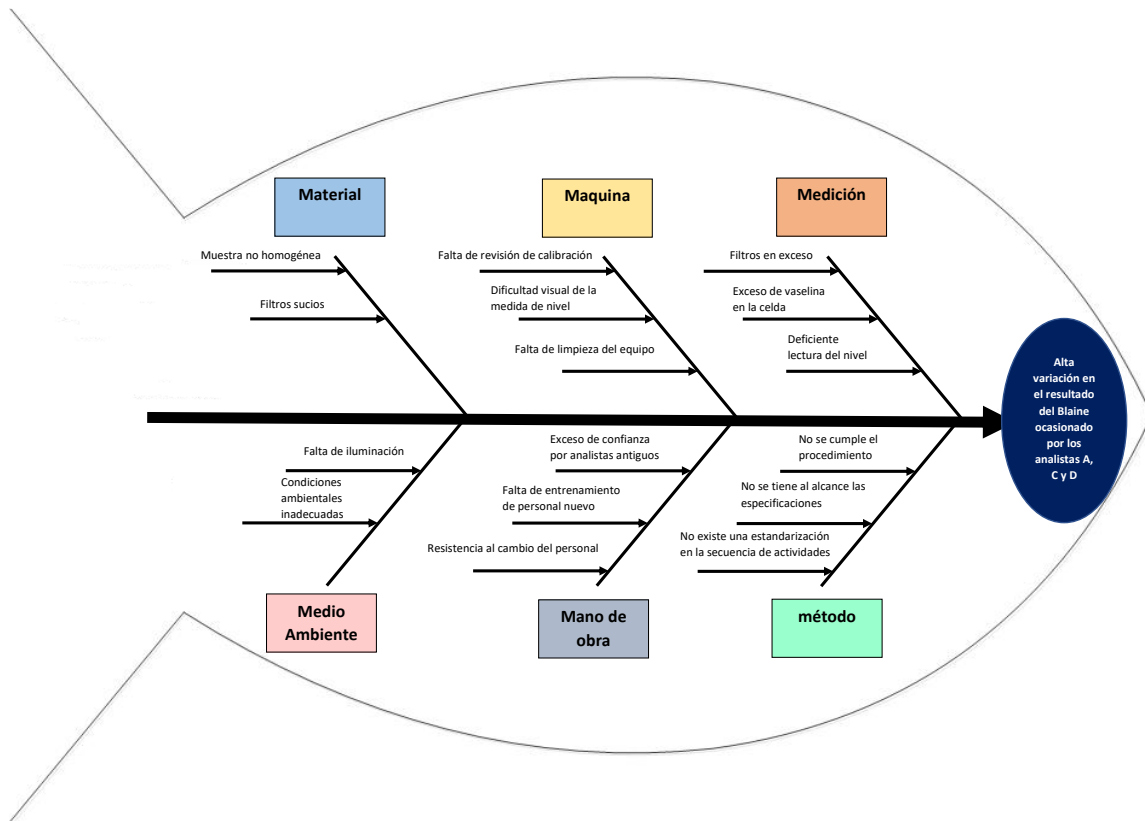


Figura 2.13 Diagrama de Ishikawa para la alta variación del ensayo del Blaine

Fuente: Propia

2.3.1.2 Diagrama de Ishikawa para el problema enfocado N°2

En la figura 2.14 se muestra el diagrama de Ishikawa para el problema enfocado “Alta variación en los resultados de fluorescencia de rayos X ocasionados por los analistas A, C y D”:

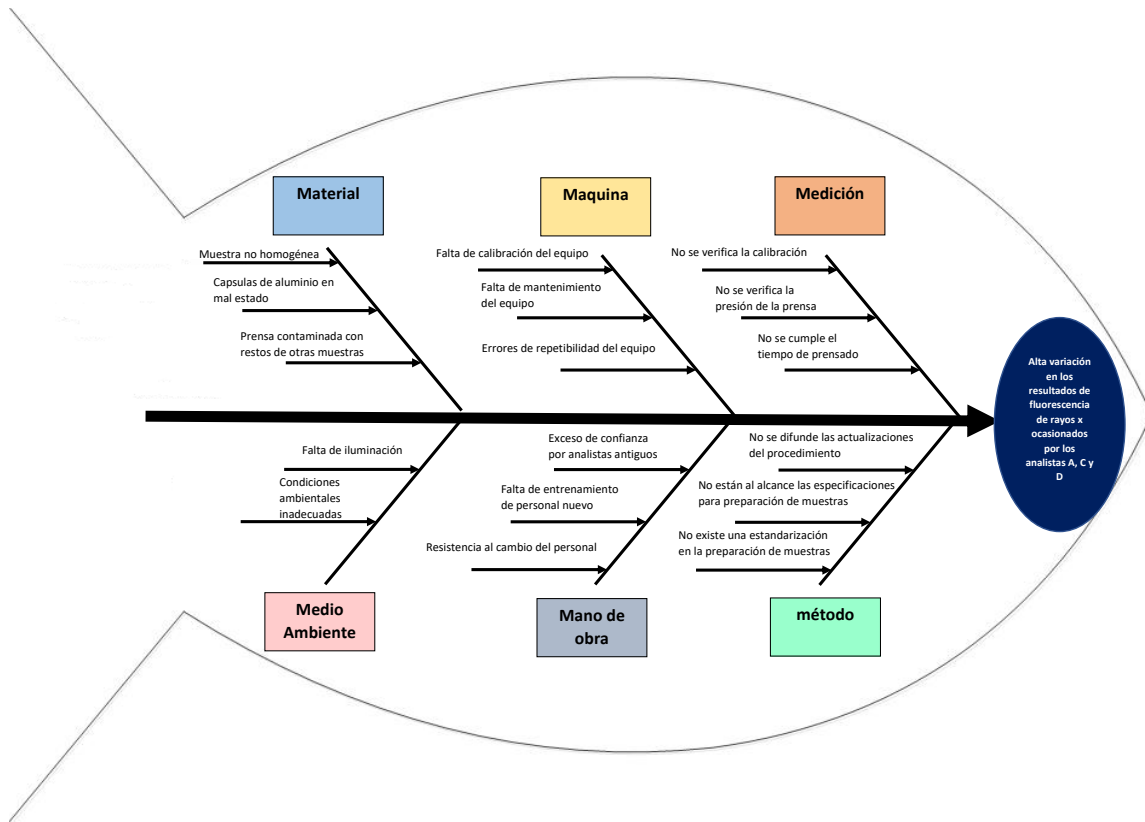


Figura 2.14 Diagrama de Ishikawa para la alta variación en los resultados de fluorescencia de rayos x

Fuente: Propia

2.3.1.3 Diagrama de Ishikawa para el problema enfocado N°3

En la figura 2.15 se muestra el diagrama de Ishikawa para el problema enfocado “Alta variación en los resultados de difracción de rayos X ocasionados por los analistas A, C y D”:

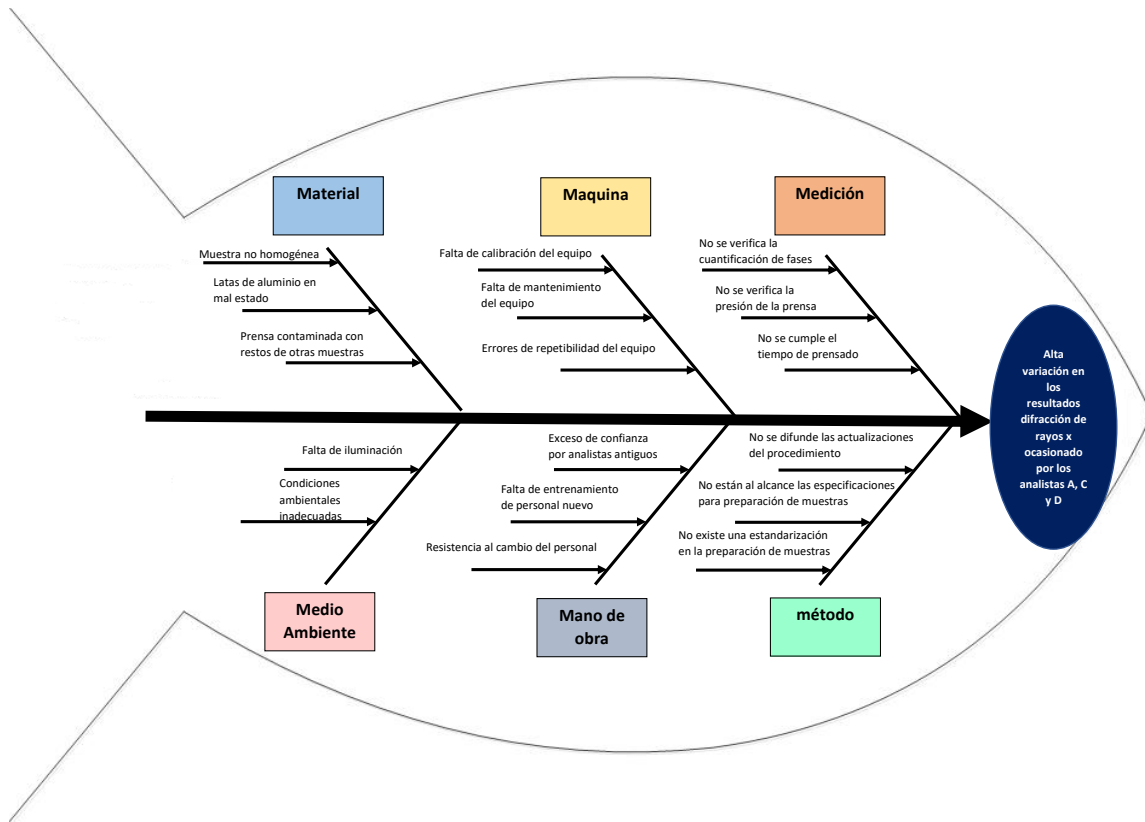


Figura 2.15 Diagrama de Ishikawa para la alta variación en los resultados de difracción de rayos x

Fuente: Propia

2.3.1.4 Diagrama de Ishikawa para el problema enfocado N°4

En la figura 2.16 se muestra el diagrama de Ishikawa para el problema enfocado “Alta variación en el resultado del ensayo del retenido en la malla N°325”:

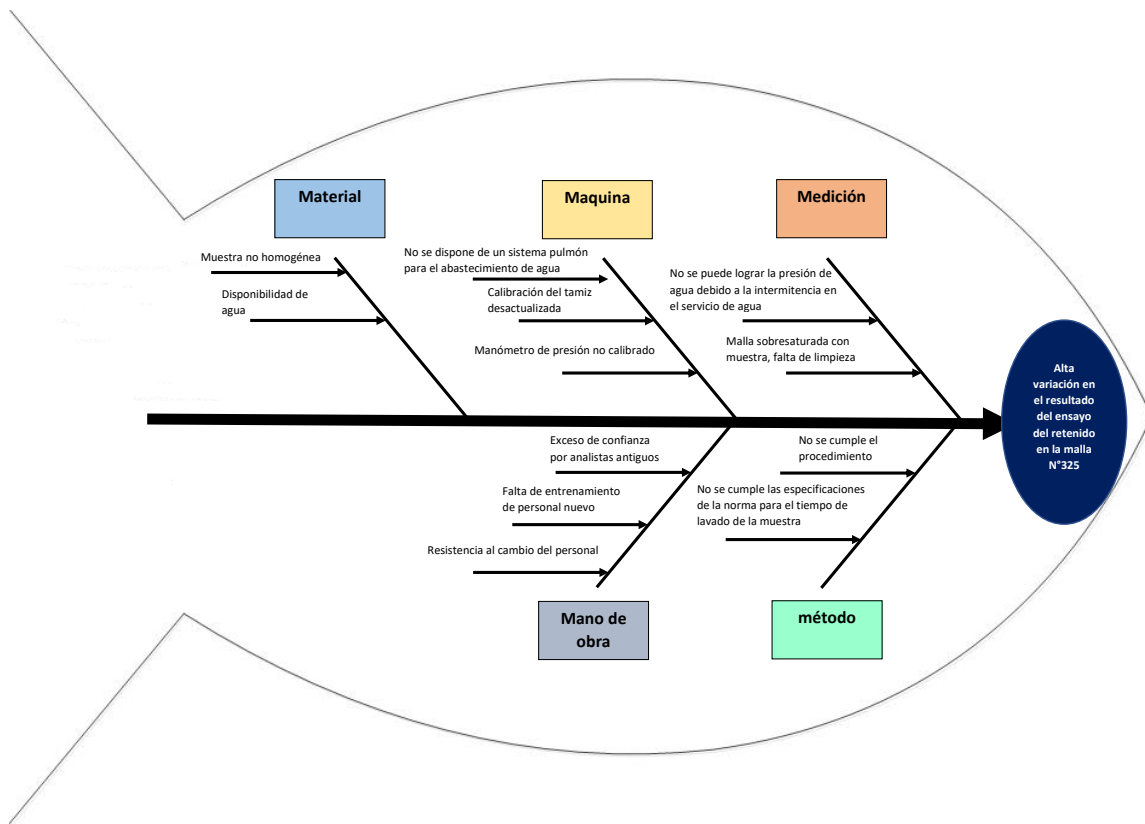


Figura 2.16 Diagrama de Ishikawa para la alta variación en el ensayo del retenido en la malla N°325

Fuente: Propia

2.3.2 Jus do it

En este punto nos centraremos en resolver las condiciones básicas de los equipos y de los métodos de análisis, pues antes de proceder con cualquier análisis complejo es importante asegurarnos que los pequeños defectos o condiciones que son necesarias para un análisis han sido resueltas, es así como en esta sección de nuestro proyecto nos enfocaremos en garantizar que estas condiciones necesarias para la realización de los ensayos han sido resueltas.

2.3.2.1 Restableciendo condiciones básicas

Para cada problema enfocado en la fase de medición se revisará si las condiciones básicas están garantizadas o si estas necesitan un plan de acción.

Condiciones básicas para el problema enfocado N°1

Para el problema enfocado N°1 se encuentran garantizadas las condiciones básicas, la principal condición básica para este equipo sería la calibración y verificación del permeabilmetro la cual se encuentra actualizada y su evidencia se puede observar en el "Anexo 9"

Condiciones básicas para el problema enfocado N°2

Para el problema enfocado N°2 se encuentran garantizadas las condiciones básicas, la principal condición básica para este equipo sería la calibración y mantenimiento del equipo de fluorescencia de rayos X la cual se encuentra actualizada y se puede observar su evidencia en el “Anexo 10”

Condiciones básicas para el problema enfocado N°3

Para el problema enfocado N°3 se encuentran garantizadas las condiciones básicas, la principal condición básica para este equipo sería la calibración y mantenimiento del equipo de difracción de rayos X la cual se encuentra actualizada y se puede observar su evidencia en el “Anexo 11”

Condiciones básicas para el problema enfocado N°4

Para el problema enfocado N°4, en las reuniones de revisión de las evaluaciones del desempeño del laboratorio de calidad, se pudo verificar algunos problemas que ocasionaban que no se cumpla con las especificaciones de la norma ASTM C430, estos problemas fueron considerados como condiciones básicas.

Es así, que de acuerdo con la figura 2.16 se indica cuáles de estas causas son las principales condiciones básicas que afectan a este ensayo.

Calibración del tamiz desactualizada: Esta calibración consiste en determinar un factor que se utiliza para el cálculo del retenido en la malla N°325, si el tamiz no dispone de este factor todos los ensayos realizados pueden ser erróneos.

Manómetro de presión no calibrado: Alcanzar la presión de agua para el lavado de la muestra como nos indica la norma ASTM C430 es de vital importancia para garantizar el resultado del porcentaje de retenido; es así como el primer paso para restaurar las condiciones básicas para este ensayo será cambiar el manómetro que se usa actualmente en la llave de agua por uno calibrado y certificado.

Falta de sistema pulmón de abastecimiento de agua: Una vez que se asegure la correcta medición de la presión del agua con el manómetro calibrado y certificado, se procederá a solventar el problema con el servicio de agua, ya que en ocasiones se alcanza sin inconvenientes la presión de agua, pero existen muchas ocasiones en que el servicio de agua en la fábrica se suspende por más de 4 horas y en especial los fines de semana, por lo que se ve la necesidad de instalar un sistema de almacenamiento de agua para el laboratorio de control de calidad, el mismo servirá como sistema pulmón para cuando se suspenda el servicio de agua. Este sistema de almacenamiento consistirá en 2 tanques y una bomba la cual entrará en funcionamiento cuando exista corte del servicio público de agua.

2.3.2.2 Plan de acción de restauración de condiciones básicas

Debido que los problemas enfocados N°1, N°2 y N°3 tienen sus condiciones básicas garantizadas, en este punto nos enfocaremos en resolver las condiciones básicas para el problema enfocado N°4

Para cumplir con la restauración de condiciones básicas se implementó un plan de acción, el cual se puede observar en la tabla 20, en la misma se indica las anomalías encontradas y se establece un riguroso seguimiento de las acciones a tomar.

Tabla 20 Plan de acción de restauración de condiciones básicas para en ensayo del retenido en la malla N°325

PLAN DE ACCION DE RESTAURACION DE CONDICIONES BASICAS					
¿Que acciones deben implementarse?	¿Por qué es importante implementar la acción?	¿Quién es responsable?	¿Dónde debe implementarse la acción?	¿Cuándo debe complementarse la acción?	Status
Calibración del tamiz 325	Garantiza el resultado y cumple la especificación de la norma	Supervisor de control de calidad	Tamiz 325	abr-21	Completado
Cambiar manómetro por uno calibrado y certificado	Garantiza la presión de agua especificada	Supervisor de control de calidad	Llave de agua para lavado de muestra	may-21	Completado
Implementar sistema pulmón de agua	Garantiza la disponibilidad de agua las 24 horas	Jefe de control de calidad	Laboratorio de control de calidad	may-21	Completado

Fuente: Propia

2.3.3 Matriz de causa y efecto

En esta parte del proyecto se cuantificó las causas potenciales identificadas en el diagrama de Ishikawa para ello el equipo DMAIC usó la matriz causa y efecto como la herramienta de análisis.

En esta matriz se ubicó en la columna al lado izquierdo todas las causas potenciales identificadas en los diagramas de Ishikawa o también llamadas “Variables de entrada X’s” agrupándolas por procesos.

En la parte superior de la matriz se colocó las “Variables de salidas Y’s”

Posteriormente se le asignó a cada Y un nivel de prioridad del 0 al 10 de acuerdo con las prioridades establecidas por el laboratorio.

Luego se realizó la evaluación de las entradas con respecto a cada una de las salidas basándose en la relación existente de acuerdo con la tabla 21 que se indica a continuación:

Tabla 21 Correlación entre las variables de entrada y de salida

Blanco	Ninguna correlacion
1	Correlacion muy remota
3	Correlacion moderada
9	Correlacion fuerte

Fuente: Propia

Como punto final se realiza la suma producto de cada causa con el objetivo de identificar la causa potencial que posteriormente será tratada.

Se realizó una matriz causa y efecto para cada uno de nuestros problemas enfocados de la siguiente manera:

Matriz causa y efecto para el problema enfocado N°1

De acuerdo con los pasos descritos al inicio del apartado 2.3.3 se elabora la tabla 19 donde podemos observar la matriz causa y efecto para este problema, a esta variable de salida "Y" el equipo DMAIC le asignó un nivel de prioridad de 8, puesto que el dato de Blaine es un dato que se usa para el desarrollo de las fundas de cemento, un diseño correcto de fundas de cemento permitirá que las roturas de las fundas en el envasado sean mínimas.

Tabla 22 Matriz causa y efecto para el problema enfocado N°1

Matriz de Causa y Efecto		Variables de salida Y's	
		Alta variación en el Blaine ocasionado por los analistas A, C y D	Total
		8	
Variables de entrada X's	Preparación de la muestra		
	No se homogeniza la muestra	3	24
	Revisión de equipos		
	Revisión de la calibración	9	72
	Dificultad visual para la medida de nivel del permeabilmetro	9	72
	Falta de limpieza del equipo	3	24
	Procedimiento		
	No se cumple el procedimiento	3	24
	No se tiene al alcance las especificaciones	3	24
	No existe una estandarización en la secuencia de actividades	3	24
	Filtros en exceso	1	8
	Exceso de vaselina	1	8
	Experiencia del analista		
	Exceso de confianza	3	24
	Falta de entrenamiento	3	24
	Resistencia al cambio	3	24
	Condiciones ambientales		
Falta de Iluminación	3	24	

Fuente: Propia

De la tabla 22 podemos concluir que las principales causas para nuestro problema en la variación de resultados del Blaine es la dificultad visual para la medida de nivel del permeabilmetro y la revisión de la calibración del equipo.

La revisión de la calibración es una condición básica de operación como se pudo ver en la sección “Restauración de condiciones básicas” siendo la única causa pendiente que nos quedará por tratar la dificultad visual para la medición de nivel del líquido, la cual será tratada posteriormente en el plan de verificación de causas antes de proponer cualquier mejora.

Matriz causa y efecto para el problema enfocado N°2

De acuerdo con los pasos descritos al inicio del apartado 2.3.3 se elabora la tabla 23 donde podemos observar la matriz causa y efecto para este problema, a esta variable de salida “Y” el equipo DMAIC le asignó un nivel de prioridad de 9, puesto que mediante los resultados de fluorescencia de rayos X, se obtiene la composición química del cemento como el porcentaje de SO₃, el cual nos indica cuanto yeso se está adicionando a nuestro cemento y si el mismo nos permitirá garantizar un adecuado tiempo de fraguado del producto.

Tabla 23 Matriz causa y efecto para el problema enfocado N°2

Matriz de Causa y Efecto		Variables de salida Y's	Total
		Alta variación en los resultados de fluorescencia de rayos X ocasionado por los analistas A, C y D	
		9	
Variables de entrada X's	Preparación de la muestra		
	No se homogeniza la muestra	3	27
	Capsulas de aluminio en mal estado	1	9
	Revisión de equipos		
	Revisión de la calibración del equipo	9	81
	Falta de mantenimiento del equipo	9	81
	Procedimiento		
	No se difunde las actualizaciones del procedimiento	3	27
	No se tiene al alcance las especificaciones	3	27
	No existe una estandarización en la preparación de muestras	9	81
	No se verifica la presión de la prensa	3	27
	No se cumple el tiempo de prensado	3	27
	Experiencia del analista		
	Exceso de confianza	3	27
	Falta de entrenamiento	3	27
	Resistencia al cambio	1	9
	Condiciones ambientales		
Falta de Iluminación	3	27	

Fuente: Propia

De la tabla 23 podemos concluir que las principales causas para nuestro problema en la variación de resultados de fluorescencia de rayos X son:

- Revisión de la calibración del equipo (Condición básica)
- Falta de mantenimiento del equipo (Condición básica)
- No existe una estandarización en la preparación de muestras

La revisión de la calibración y mantenimiento del equipo son condiciones básicas de operación como se pudo ver en la sección “Restauración de condiciones básicas” siendo la única causa que nos quedará pendiente por tratar la falta de estandarización en la preparación de muestras para análisis por fluorescencia de rayos X, la cual será tratada posteriormente en el plan de verificación de causas.

Matriz causa y efecto para el problema enfocado N°3

De acuerdo con los pasos descritos al inicio del apartado 2.3.3 se elabora la tabla 24 donde podemos observar la matriz causa y efecto para este problema, a esta variable de salida “Y” el equipo DMAIC le asignó un nivel de prioridad de 10, puesto que mediante los resultados de difracción de rayos X, se obtiene la composición mineralógica del cemento como el porcentaje de adición de puzolana, de calcita y el valor del C3S que nos da una idea de la calidad de nuestro cemento para garantizar las resistencias del mismo, estos resultados de difracción de rayos X en resumen nos permite saber el porcentaje de adiciones que contiene nuestro producto, mientras mayor sea el porcentaje de adición mayor será la rentabilidad.

Tabla 24 Matriz causa y efecto para el problema enfocado N°3

Matriz de Causa y Efecto		Variables de salida Y's	
		Alta variación en los resultados de fluorescencia de rayos X ocasionado por los analistas A, C y D	Total
		10	
Variables de entrada X's	Preparación de la muestra		
	No se homogeniza la muestra	3	30
	Latas de aluminio en mal estado	1	10
	Revisión de equipos		
	Revisión de la calibración del equipo	9	90
	Falta de mantenimiento del equipo	9	90
	Procedimiento		
	No se difunde las actualizaciones del procedimiento	3	30
	No se tiene al alcance las especificaciones	3	30
	No existe una estandarización en la preparación de muestras	9	90
	No se verifica la presión de la prensa	3	30
	No se cumple el tiempo de prensado	3	30
	Experiencia del analista		
	Exceso de confianza	3	30
	Falta de entrenamiento	3	30
	Resistencia al cambio	1	10
	Condiciones ambientales		
Falta de Iluminación	3	30	

Fuente: Propia

De la tabla 24 podemos concluir que las principales causas para nuestro problema en la variación de resultados de difracción de rayos X son:

- Revisión de la calibración del equipo (Condición básica)
- Falta de mantenimiento del equipo (Condición básica)
- No existe una estandarización en la preparación de muestras

La revisión de la calibración y mantenimiento del equipo son condiciones básicas de operación como se pudo ver en la sección “Restauración de condiciones básicas” siendo la única causa que nos quedará pendiente por tratar la falta de estandarización en la preparación de muestras para análisis por difracción de rayos X, la cual será tratada posteriormente en el plan de verificación de causas.

Matriz causa y efecto para el problema enfocado N°4

De acuerdo con los pasos descritos al inicio del apartado 2.3.3 se elabora la tabla 25 donde podemos observar la matriz causa y efecto para este problema, a esta variable de salida “Y” el equipo DMAIC le asignó un nivel de prioridad de 10, puesto que mediante los resultados del retenido en la malla N°325, se obtienen los resultados de fineza del cemento, si el dato del cemento cumple con los rangos establecidos para la fineza, se pueden obtener valor óptimos de resistencias iniciales del producto y se tendrá una producción óptima del molino de cemento, ya que la producción de cemento en el molino está relacionada directamente con el valor del retenido.

Tabla 25 Matriz causa y efecto para el problema enfocado N°4

Matriz de Causa y Efecto		Variables de salida Y's	
		Alta variación en los resultados del retenido en la malla N°325	Total
		10	
Variables de entrada X's	Preparación de la muestra		
	No se homogeniza la muestra	3	30
	Disponibilidad de agua	9	90
	Revisión de equipos		
	No se dispone de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua	9	90
	Calibración del tamiz desactualizada	9	90
	Manómetro de presión no calibrado	9	90
	Procedimiento		
	No se cumple el procedimiento	3	30
	No se cumple las especificaciones de la norma para el tiempo de lavado de la muestra	3	30
	No se puede lograr la presión de agua debido a la intermitencia en el servicio de agua	9	90
	Malla sobresaturada con restos de muestras, falta de limpieza	9	90
	Experiencia del analista		
	Exceso de confianza	1	10
	Falta de entrenamiento	1	10
	Resistencia al cambio	1	10

Fuente: Propia

De la tabla 25 podemos concluir que las principales causas para nuestro problema en la variación de resultados del retenido en la malla N°325 son:

- Disponibilidad de agua
- No se dispone de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua
- Calibración del tamiz desactualizada
- Manómetro de presión no calibrado
- No se puede lograr la presión de agua debido a la intermitencia en el servicio de agua
- Malla sobresaturada con restos de muestras, falta de limpieza

2.3.4 Plan de verificación de causas

Una vez que han sido ponderadas las causas de nuestros problemas enfocados en la matriz de causa y efecto procederemos a realizar la verificación de las mismas. Para ello usaremos el software Minitab y Go&See.

Para cada matriz causa y efecto de cada uno de nuestros problemas enfocados se realizó un plan de verificación de causas.

Plan de verificación de causa N°1 para la matriz causa y efecto N°1

En la matriz causas y efecto N°1 se detectó que la principal causa para la alta variación en el resultado del Blaine es la dificultad para observar el nivel del líquido en el permeabilmetro es así como nuestro plan de verificación de causa quedará de acuerdo con la tabla 26

Tabla 26 Plan de verificación de causas para la matriz causa y efecto N°1

PLAN DE VERIFICACION DE CAUSAS				
X's	Causas Potenciales X's	¿Cómo influye con respecto a la Y?	¿Cómo verificar?	Estado de verificación SI/NO
X1	Dificultad visual para observar la medida de nivel de líquido del permeabilmetro	Debido a una percepción incorrecta de las lectura del nivel del liquido, se obtendrá un tiempo de ensayo erróneo incrementando la variabilidad en los resultados	Mediante una comparación de resultados analizados, en la que se garantice una adecuada lectura vs la que se emplea actualmente, se empleará una prueba estadística de 2 varianzas	SI VERIFICADA

Fuente: Propia

Verificación de la causa establecida en el Plan de verificación de causas N°1

Debido a que el permeabilmetro presenta una dificultad visual al momento de determinar el nivel de liquido se planteó que para el analisis de esta causa temporalmente se debia implementar en el permeabilmetro una iluminacion en el equipo en la parte donde se mide el nivel, pues esta iluminación permite una mejor apreciación de la lectura de tal forma que nuestro analisis para verificar esta causa

se definirá como análisis sin iluminación en el permeabilímetro versus análisis con iluminación el permeabilímetro.

Para corroborar esta causa se utilizó la información de una muestra de cemento de resultado conocido, el cual es de 4850 Blaine. Se tomó los resultados de 5 repeticiones "Sin iluminación" y los datos de 5 repeticiones "Con iluminación".

A estos 2 grupos de datos se realiza un prueba "2 varianzas" en el software Minitab con el objetivo de observar si existe una diferencia en la dispersión de los datos, para ello se realizó una prueba de hipótesis como se menciona a continuación:

H_0 : Relación de desviaciones estándar=1 (no afecta la iluminación en la dispersión del resultado del Blaine)

H_1 : Relación de desviación estándar > 1 (la iluminación permite una menor dispersión en el resultado del Blaine)

Una vez planteadas las hipótesis procedemos con el análisis en Minitab obteniendo los siguientes resultados:

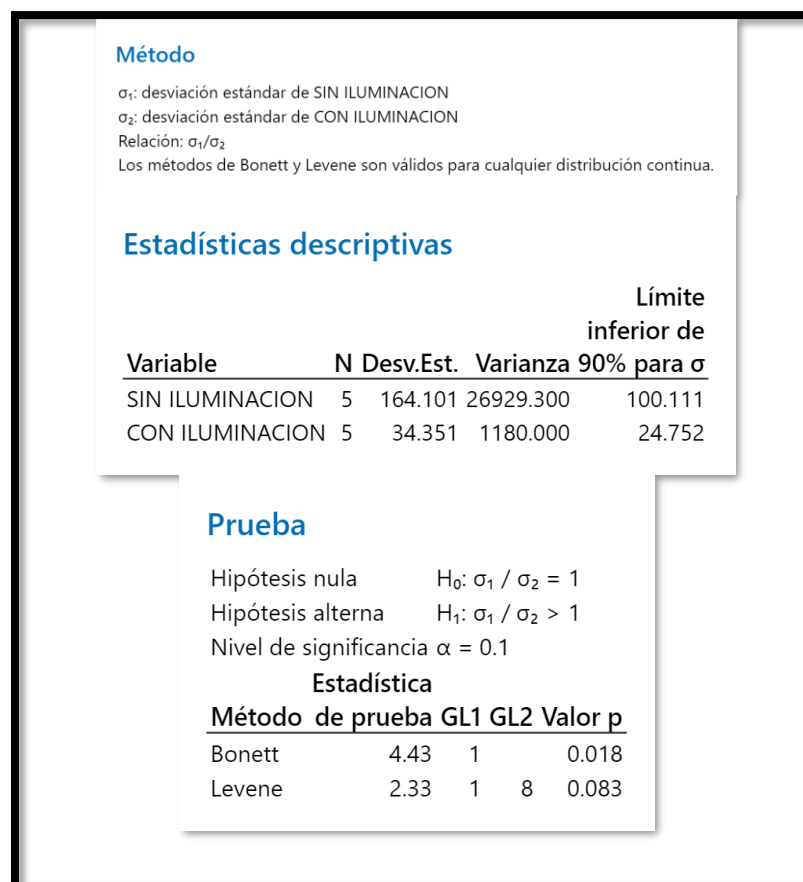


Figura 2.17 Resumen de datos obtenido en Minitab de la prueba de 2 varianzas para el plan de verificación de causas N°1

Fuente: Propia

Con el valor p de 0.018 y 0.083 que se obtienen usando el método de Bonett y Levene respectivamente y empleando un nivel de significancia de 0.1 podemos concluir que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, lo que significa que la desviación estándar cuando se implementa un sistema que permita una mejor lectura del nivel de líquido en el permeabilmetro es menor que la empleada actualmente.

En el diagrama de cajas de la figura 2.18 se puede observar como con una adecuación que permita una mejor lectura del nivel de líquido en el permeabilmetro permite que la dispersión de los datos disminuya considerablemente.

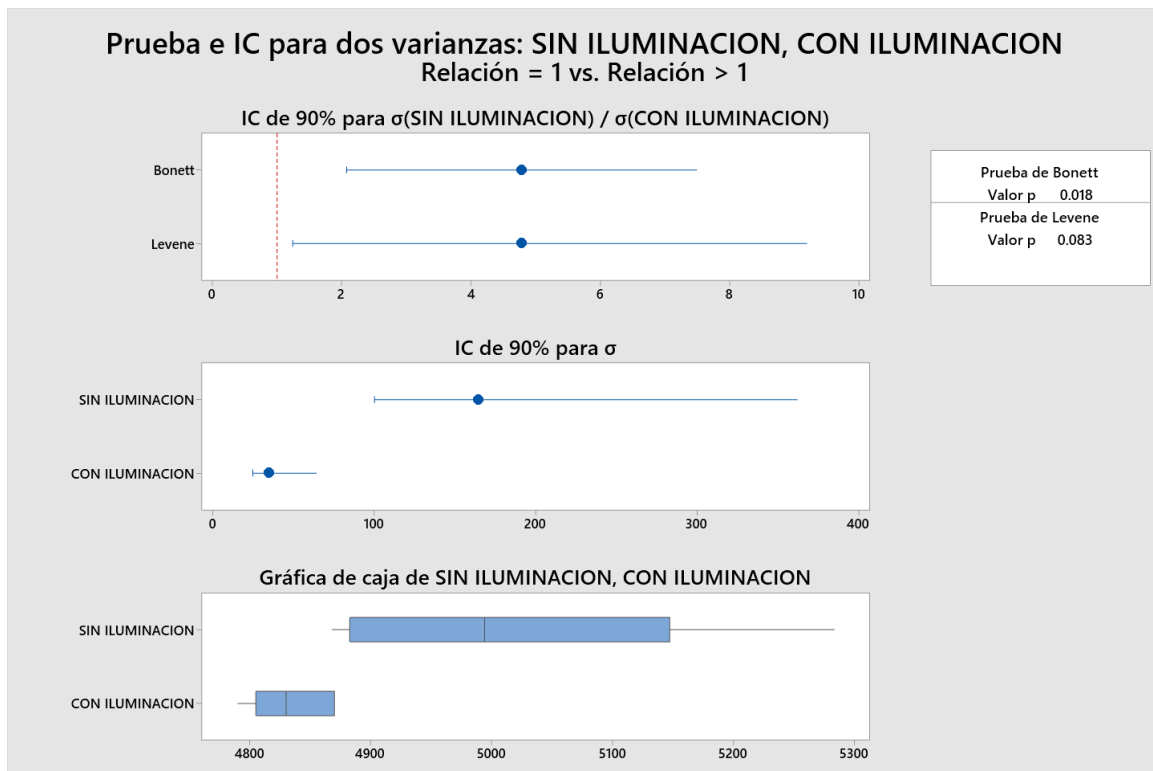


Figura 2.18 Gráfica de cajas para verificación de la causa de la dificultad visual del nivel del líquido en el permeabilmetro

Fuente: Propia

Plan de verificación de causa N°2 para la matriz causa y efecto N°2

En la matriz causas y efecto N°2 se detectó que la principal causa para la alta variación en los resultados de fluorescencia de rayos X es la falta de estandarización en la preparación de muestras que serán analizadas, es así como nuestro plan de verificación de causa quedará de acuerdo con la tabla 27.

Tabla 27 Plan de verificación de causas para la matriz causa y efecto N°2

PLAN DE VERIFICACION DE CAUSAS				
X's	Causas Potenciales X's	¿Cómo influye con respecto a la Y?	¿Cómo verificar?	Estado de verificación SI/NO
X1	No existe una estandarización en la preparación de muestras que serán analizadas por fluorescencia de rayos x	De acuerdo a la experiencia una adecuada preparación de la muestra representa el 80% la confiabilidad del resultado, por lo que una mala preparación incrementará la variabilidad en los resultados	Mediante una comparación de resultados analizados con preparación de muestra sin estandarización vs con estandarización, se empleará una prueba estadística de 2 varianzas	SI VERIFICADA

Fuente: Propia

Verificación de la causa establecida en el Plan de verificación de causas N°2

La preparación de las muestras que serán analizadas usando la técnica de fluorescencia de rayos X es de vital importancia, a tal punto que de acuerdo con la experiencia y a cursos impartidos por los fabricantes de equipos de fluorescencia de rayos X indican que una adecuada preparación de la muestra representa el 80% de un correcto resultado.

En el laboratorio de control de calidad si bien se usa tanto fluorescencia como difracción de rayos X por más de 10 años, no existe una estandarización en la preparación de la muestra, debido a múltiples factores, por mencionar un ejemplo los 5 analistas de control de calidad sujetos a evaluación de desempeño, cada uno prepara la muestra de forma diferente.

Por lo que para verificar esta causa raíz se tomó una muestra y se pidió analizar a los analistas de control de calidad de la forma en la que rutinariamente la preparan y posteriormente preparar la misma muestra de una forma estándar, para luego analizarla en el equipo de fluorescencia de rayos X.

Se tomaron los resultados de fluorescencia de rayos X y se determinó para cada dato la diferencia del resultado reportado del promedio de los resultados para el conjunto de datos como se puede observar en las tablas 28 y 29; se realizó este paso tanto para los resultados sin estandarización como para los resultados con estandarización.

Tabla 28 Resultados de análisis sin estandarización en la preparación de muestras para análisis por fluorescencia de rayos x

SIN ESTANDARIZACION											
VARIABLE	Prom	RESULTADOS REPORTADOS					RESULTADOS REPORTADOS - PROMEDIO				
		Analista A	Analista B	Analista C	Analista D	Analista E	Analista A	Analista B	Analista C	Analista D	Analista E
SiO2	33.43	33.255	33.383	33.722	33.29	33.508	-0.18	-0.05	0.29	-0.14	0.08
CaO	44.08	43.938	43.843	44.286	43.993	44.362	-0.15	-0.24	0.20	-0.09	0.28
MgO	1.089	1.084	1.094	1.09	1.089	1.086	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
SO3	2.702	2.688	2.7	2.69	2.71	2.726	-0.01	0.00	-0.02	0.01	0.02

Fuente: Propia

Tabla 29 Resultados de análisis con estandarización en la preparación de muestras para análisis por fluorescencia de rayos x

CON ESTANDARIZACION												
VARIABLE	Prom	SD	RESULTADOS REPORTADOS					RESULTADO REPORTADO - PROMEDIO				
			Analista A	Analista B	Analista C	Analista D	Analista E	Analista A	Analista B	Analista C	Analista D	Analista E
SiO2	33.43	0.159	33.399	33.327	33.265	33.67	33.5	-0.03	-0.11	-0.17	0.24	0.07
CaO	44.12	0.067	44.201	44.04	44.135	44.163	44.064	0.08	-0.08	0.01	0.04	-0.06
MgO	1.09	0.008	1.09	1.09	1.09	1.102	1.080	0.00	0.00	0.00	0.01	-0.01
SO3	2.70	0.019	2.698	2.691	2.73	2.706	2.673	0.00	-0.01	0.03	0.01	-0.03

Fuente: Propia

A estos 2 grupos de datos se realiza una prueba de "2 varianzas" en el software Minitab con el objetivo de observar si existe una diferencia en la dispersión de los datos, para ello se realizó una prueba de hipótesis como se menciona a continuación:

Ho: Relación de desviaciones estandar=1 (no afecta la forma en que se prepara la muestra)

H1: Relación de desviación estandar > 1 (la estandarización en la preparación de la muestra permite una menor dispersión en los resultados)

Una vez planteadas las hipótesis procedemos con el análisis en Minitab obteniendo los siguientes resultados:

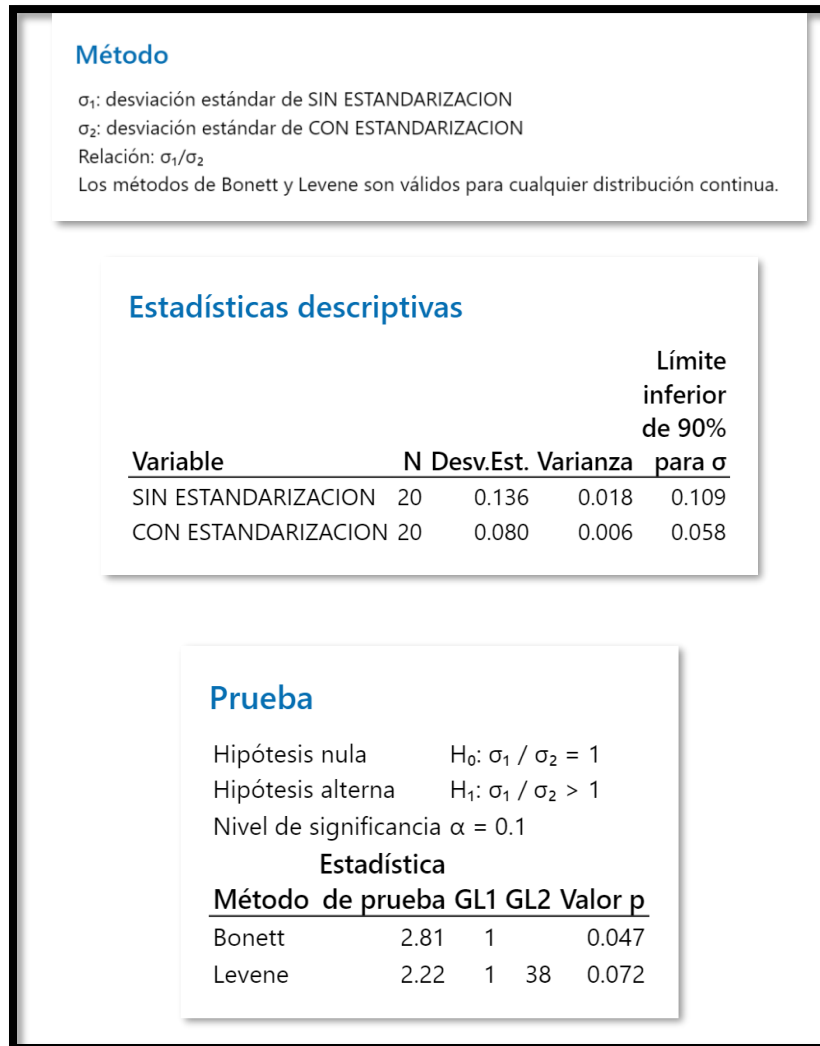


Figura 2.19 Resumen de datos obtenido en Mini Minitab de la prueba de 2 varianzas para el plan de verificación de causas N°2

Fuente: Propia

Con el valor p de 0.047 y 0.072 que se obtienen usando el método de Bonett y Levene respectivamente y empleando un nivel de significancia de 0.1 podemos concluir que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, lo que significa que la desviación estándar cuando se estandariza la preparación de las muestras que serán analizadas por fluorescencia de rayos X es menor que la empleada actualmente.

En el diagrama de cajas de la figura 2.20 se puede observar como una preparación de la muestra estandarizada permite que la dispersión de los datos disminuya considerablemente.

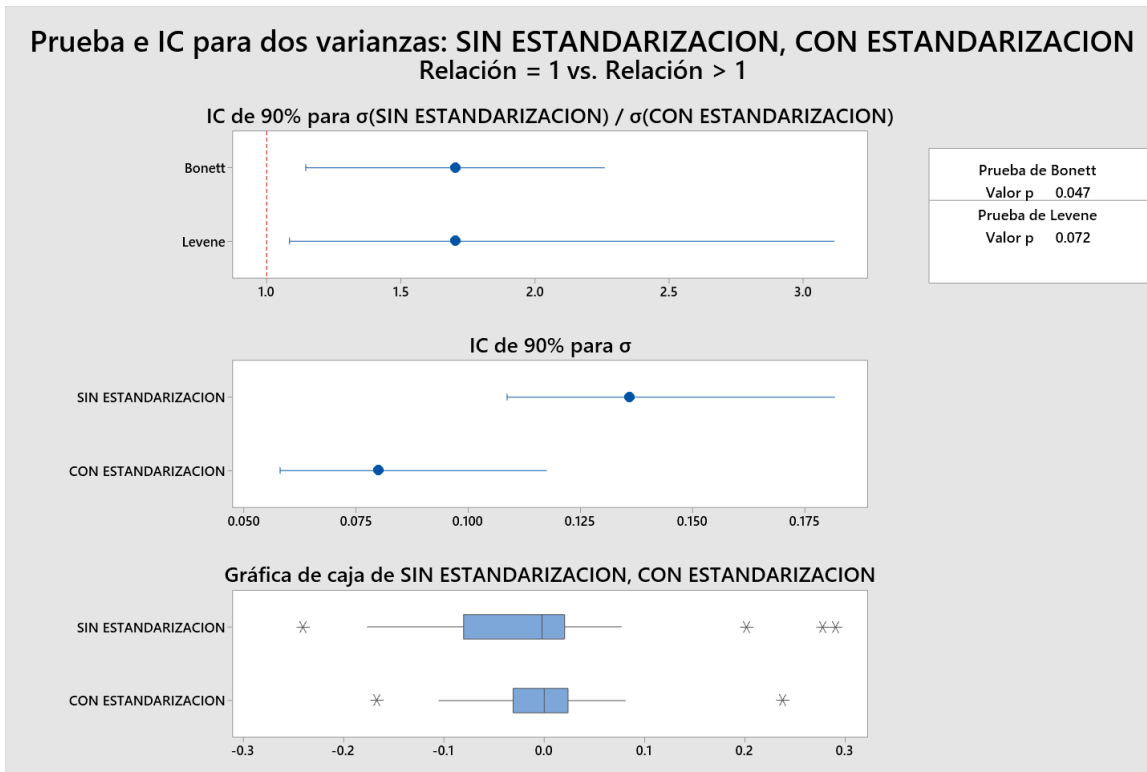


Figura 2.20 Gráfica de cajas para la causa falta de estandarización en la preparación de muestras analizadas por fluorescencia de rayos X

Fuente: Propia

Plan de verificación de causa N°3 para la matriz causa y efecto N°3

En la matriz causas y efecto N°3 se detectó que la principal causa para la alta variación en los resultados de difracción de rayos X es la falta de estandarización en la preparación de muestras que serán analizadas, es así como nuestro plan de verificación de causa quedara de acuerdo con la tabla 30.

Tabla 30 Plan de verificación de causas para la matriz causa y efecto N°3

PLAN DE VERIFICACION DE CAUSAS				
X's	Causas Potenciales X's	¿Cómo influye con respecto a la Y?	¿Cómo verificar?	Estado de verificación SI/NO
X1	No existe una estandarización en la preparación de muestras que serán analizadas por difracción de rayos x	De acuerdo a la experiencia una adecuada preparación de la muestra representa el 80% la confiabilidad del resultado, por lo que una mala preparación incrementará la variabilidad en los resultados	Mediante una comparación de resultados analizados con preparación de muestra sin estandarización vs con estandarización, se empleará una prueba estadística de 2 varianzas	SI VERIFICADA

Fuente: Propia

Verificación de la causa establecida en el Plan de verificación de causas N°3

La preparación de las muestras que serán analizadas usando la técnica de difracción de rayos X es de vital importancia, a tal punto que de acuerdo con la experiencia y a cursos impartidos por los fabricantes de equipos de difracción de rayos X, indican que una adecuada preparación de la muestra representa el 80% de un correcto resultado.

En el laboratorio de control de calidad si bien se usa tanto fluorescencia como difracción de rayos X por más de 10 años, no existe una estandarización en la preparación de la muestra, debido a múltiples factores, por mencionar un ejemplo los 5 analistas de control de calidad sujetos a evaluación de desempeño, cada uno prepara la muestra de forma diferente.

Por lo que para verificar esta causa raíz se tomó una muestra y se pidió analizar a los analistas de control de calidad de la forma en la que rutinariamente la preparan y posteriormente preparar la misma muestra de una forma estándar, para luego analizarla en el equipo de difracción de rayos X.

Los resultados se muestran en las tablas 31 y 32 respectivamente.

Tabla 31 Resultados de análisis sin estandarización en la preparación de muestras para análisis por difracción de rayos x

SIN ESTANDARIZACION						
VARIABLE	Prom	RESULTADOS REPORTADOS				
		Analista A	Analista B	Analista C	Analista D	Analista E
C3S	36.58	36.6	37.43	35.39	37.42	36

Fuente: Propia

Tabla 32 Resultados de análisis con estandarización en la preparación de muestras para análisis por difracción de rayos x

CON ESTANDARIZACION						
VARIABLE	Prom	RESULTADOS REPORTADOS				
		Analista A	Analista B	Analista C	Analista D	Analista E
C3S	35.84	36.3	35.78	35.39	35.78	36

Fuente: Propia

A estos 2 grupos de datos se realiza una prueba de “2 varianzas” en el software Minitab con el objetivo de observar si existe una diferencia en la dispersión de los datos, para ello se realizó una prueba de hipótesis como se menciona a continuación:

Ho: Relación de desviaciones estandar=1 (no afecta la forma en que se prepara la muestra)

H1: Relación de desviacion estandar > 1 (la estandarizacion en la preparacion de la muestra permite una menor dispersion en los resultados)

Una vez planteadas las hipótesis procedemos con el analisis en Minitab obteniendo los siguientes resultados:

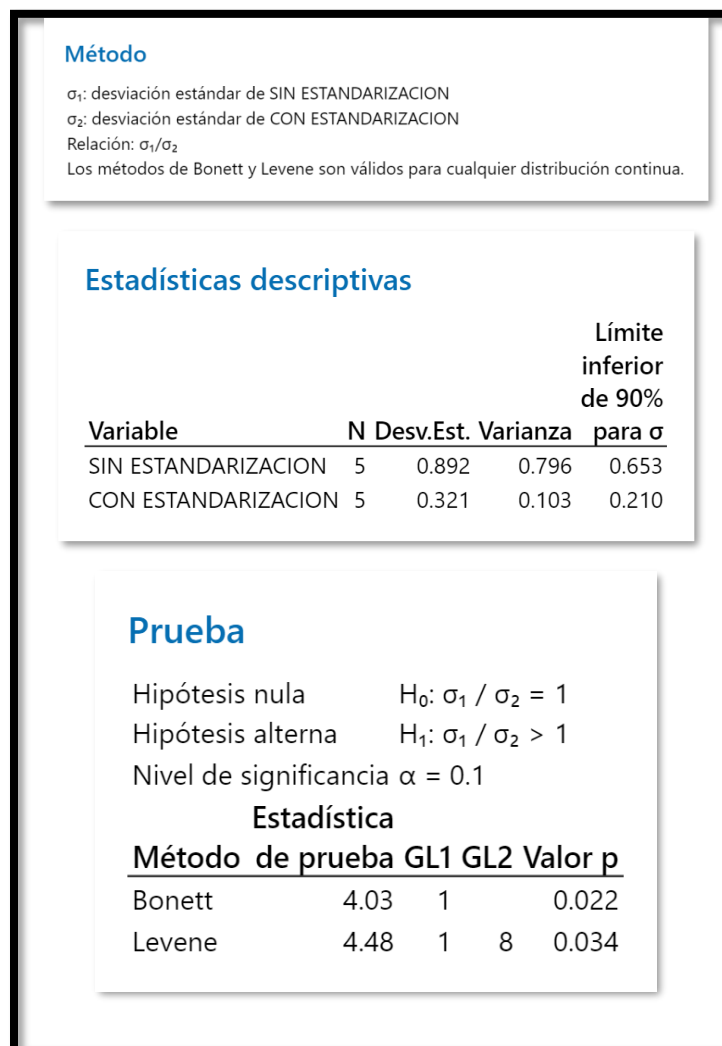


Figura 2.21 Resumen de datos obtenido en Mini Minitab de la prueba de 2 varianzas para el plan de verificación de causas N°3

Fuente: Propia

Con el valor p de 0.022 y 0.034 que se obtienen usando el método de Bonett y Levene respectivamente y empleando un nivel de significancia de 0.1 podemos concluir que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, lo que significa que la desviación estándar cuando se estandariza la preparación de las muestras que serán analizadas por difracción de rayos X es menor que la empleada actualmente.

En el diagrama de cajas de la figura 2.22 se observa como con una preparación de la muestra estandarizada permite que la dispersión de los datos disminuya considerablemente.

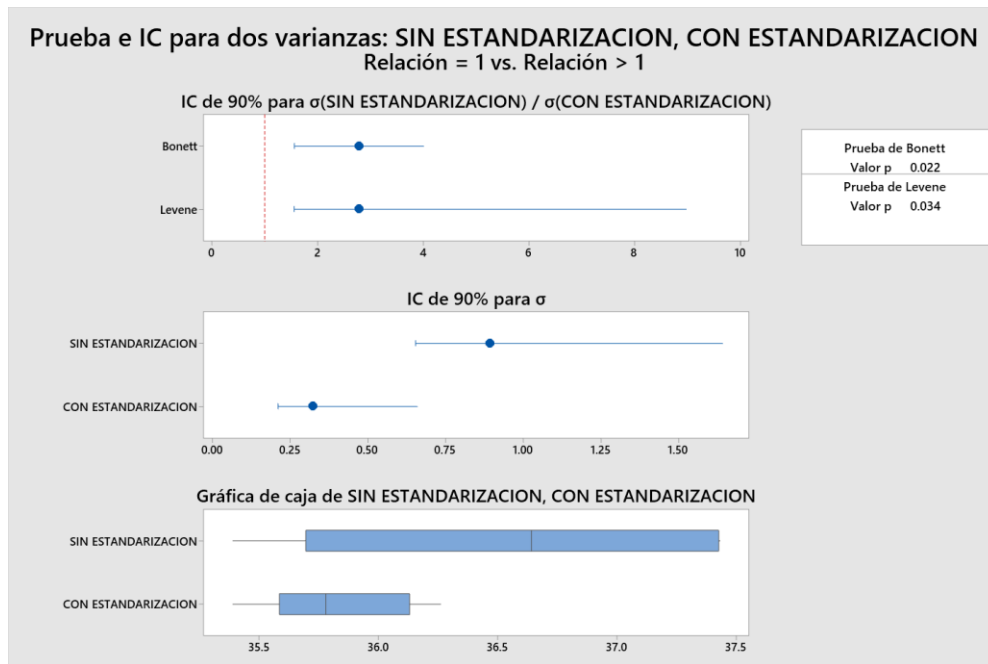


Figura 2.22 Grafica de cajas para la causa falta de estandarización en la preparación de muestras analizadas por difracción de rayos X

Fuente: Propia

Plan de verificación de causa N°4 para la matriz causa y efecto N°4

En la matriz causa y efecto N°4 se detectó que las principales causas para la alta variación en los resultados del retenido en la malla N°325 eran condiciones básicas, las cuales fueron verificadas mediante Go&See, es decir, ir y mirar en el lugar donde ocurre el problema. De esta manera se verificaron estas causas como se visualiza en la tabla 33.

Tabla 33 Plan de verificación de causas para la matriz causa y efecto N°4

PLAN DE VERIFICACION DE CAUSAS				
X's	Causas Potenciales X's	¿Cómo influye con respecto a la Y?	¿Cómo verificar?	Estado de verificación SI/NO
X1	No se dispone de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua	Cuando el servicio de agua publica suspende el abastecimiento de agua no se puede realizar el ensayo	Mediante Go&See, y verificar si hay o no agua en la llave	SI VERIFICADA
X2	Calibración del tamiz desactualizada	Si el tamiz no cuenta con su factor de calibración todos los resultados serán erróneos	Mediante GO&See, verificar en el registro de calibración del tamiz la fecha de actualización	SI VERIFICADA
X3	Manómetro de presión no calibrado	Puede ocasionar una presión de agua de lavado que no cumpla la especificación para realizar este ensayo, por ende un resultado erróneo	Mediante GO&See, verificar si el manómetro cuenta con la calibración o no	SI VERIFICADA
X4	Malla sobresaturada con restos de muestras, falta de limpieza	Al estar saturada la malla del tamiz al momento de realizar el lavado de la muestra, no permitirá que las partículas con un tamaño inferior atraviesen dicha malla, ocasionando un dato erróneo	Mediante GO&See, verificar si la malla del tamiz esta saturada con restos de muestras	SI VERIFICADA

Fuente: Propia

Verificación de la causa establecida en el Plan de verificación de causas N°4

Para la causa potencial “no se dispone de un sistema pulmón” se pudo evidenciar que en muchas ocasiones en el laboratorio no había servicio de agua en especial los fines de semana, la forma de verificar dicha causa fue acudiendo a las llaves de agua y evidenciando que la misma no tenía flujo de líquido.

Para la causa potencial “Calibración del tamiz desactualizada” la forma de verificar la misma fue la revisión de la parte documental donde se pudo constatar que no existe el registro de calibración del tamiz que es usado por los analistas de control de calidad.

Para las siguientes dos causas potenciales X3 y X4 se verificó igualmente mediante Go&See como se muestra en las figuras 2.23 y 2.24. En la figura 2.23 se visualiza el mal estado del área de lavado y el uso del manómetro el cual no dispone certificado de calibración.



Figura 2.23 Manómetro sin calibración

Fuente: Propia

En la figura 2.24 se puede observar una malla sobresaturada retirada del tamiz 325 comparada con una malla nueva la cual se implementó en dicho tamiz.



Figura 2.24 Malla sobresaturada vs malla nueva

Fuente: Propia

2.3.4 Determinación de la causa raíz Matriz 5 ¿Por qué?

Una vez que han sido verificadas nuestras causas potenciales el siguiente paso que se realizó fue analizar mediante la herramienta del 5 ¿Por qué? cual es la causa raíz para cada problema enfocado, obteniendo lo siguiente:

Matriz 5 ¿Por qué? para el problema enfocado N°1

Tabla 34 Matriz 5 ¿Por qué? para el problema enfocado N°1

MATRIZ 5 PORQUE'S												
	Ronda 1	Verificado	Ronda 2	Verificado	Ronda 3	Verificado	Ronda 4	Verificado	Ronda 5	Verificado	Causa Raíz	Acción
Pregunta	¿Porqué hay dificultad visual para observar la medida de nivel de líquido del permeabilmetro?		¿Porqué a ciertos analistas se les dificulta observar esta medida?		¿Porqué la raya donde se mide el nivel del liquido no se resalta?							
Hipótesis	Porque a ciertos analistas se les dificulta observar esta medida	SI	Porque la raya donde se mide el nivel del liquido no se resalta	SI	Porque nunca se realizó algún tipo de adecuación a este equipo para resaltar esta raya al momento de la medición	SI					Falta de algún tipo de adecuación a este equipo que resalte esta raya al momento de la medición	Implementar en el permeabilmetro algún tipo de adecuación como una iluminación que resalte esta raya al momento de la medición

Fuente: Propia

Como conclusión de la tabla 34 se determinó que la causa raíz para la alta variación en los resultados del Blaine es la falta de algún tipo de adecuación al equipo permeabilmetro que permita que se resalte la raya donde se mide el nivel del líquido al momento de realizar la medición.

Matriz 5 ¿Por qué? para el problema enfocado N°2

Tabla 35 Matriz 5 ¿Por qué? para el problema enfocado N°2

MATRIZ 5 PORQUE'S												
	Ronda 1	Verificado	Ronda 2	Verificado	Ronda 3	Verificado	Ronda 4	Verificado	Ronda 5	Verificado	Causa Raíz	Acción
Pregunta	¿Por qué no existe una estandarización en la preparación de muestras que serán analizadas por fluorescencia de rayos x?		¿Porqué nunca se evaluó el impacto de la preparación de la muestra en el resultado?		¿Porqué cada analista prepara la muestra de acuerdo a su experiencia?		¿Porqué nunca se capacitó en la preparación de las muestras para análisis?					
Hipótesis	Porque nunca se evaluó el impacto de la preparación de la muestra en el resultado	SI	Porque cada analista prepara la muestra de acuerdo a su experiencia	SI	Porque nunca se capacitó en la preparación de las muestras para análisis	SI	Porque no existe un instructivo para la preparación de las muestras	SI			No existe instructivos para la preparación de las muestras para análisis mediante fluorescencia de rayos X	Implementar un instructivo para la preparación de muestras para análisis por fluorescencia de rayos X

Fuente: Propia

Como conclusión de la tabla 35 se determinó que la causa raíz para la alta variación en los resultados de fluorescencia de rayos X se debe a que no existen instructivos para la preparación de las muestras para análisis mediante fluorescencia de rayos X.

Matriz 5 ¿Por qué? para el problema enfocado N°3

Tabla 36 Matriz 5 ¿Por qué? para el problema enfocado N°3

MATRIZ 5 PORQUE'S												
	Ronda 1	Verificado	Ronda 2	Verificado	Ronda 3	Verificado	Ronda 4	Verificado	Ronda 5	Verificado	Causa Raíz	Acción
Pregunta	¿Por qué no existe una estandarización en la preparación de muestras que serán analizadas por difracción de rayos x?		¿Por qué nunca se evaluó el impacto de la preparación de la muestra en el resultado?		¿Por qué cada analista prepara la muestra de acuerdo a su experiencia?		¿Por qué nunca se capacitó en la preparación de las muestras para análisis?					
Hipótesis	Porque nunca se evaluó el impacto de la preparación de la muestra en el resultado	SI	Porque cada analista prepara la muestra de acuerdo a su experiencia	SI	Porque nunca se capacitó en la preparación de las muestras para análisis	SI	Porque no existe un instructivo para la preparación de las muestras	SI			No existe instructivos para la preparación de las muestras para análisis mediante difracción de rayos X	Implementar un instructivo para la preparación de muestras para análisis por difracción de rayos X

Fuente: Propia

Como conclusión de la tabla 36 se determinó que la causa raíz para la alta variación en los resultados de difracción de rayos X se debe a que no existen instructivos para la preparación de las muestras para análisis mediante difracción de rayos X.

Matriz 5 ¿Por qué? para el problema enfocado N°4

Tabla 37 Matriz 5 ¿Por qué? para el problema enfocado N°3

MATRIZ 5 PORQUE'S												
	Ronda 1	Verificado	Ronda 2	Verificado	Ronda 3	Verificado	Ronda 4	Verificado	Ronda 5	Verificado	Causa Raíz	Acción
Pregunta	¿Por qué no se dispone de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua?		¿Por qué no se dispone de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua?		¿Por qué no se realizó la compra de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua?							
Hipótesis	Por que no se dispone de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua	SI	Porque no se realizó la compra de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua	SI	Porque no se realizó la gestión correspondiente para la compra de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua	SI					No se realizó la gestión correspondiente para la compra de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua	Realizar la gestión correspondiente para la compra de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua
Pregunta	¿Por qué la calibración del tamiz es desactualizada?		¿Por qué nunca se determinaba el factor de cálculo para cada tamiz?									
Hipótesis	Porque nunca se determinaba el factor de cálculo para cada tamiz	SI	Porque en el pasado no se llevaba un registro de verificación de la calibración del tamiz	SI							En el pasado no se llevaba un registro de verificación de la calibración del tamiz	Implementar un registro de verificación de la calibración del tamiz con una frecuencia de tiempo determinada
Pregunta	¿Por qué el manómetro de presión no esta calibrado?		¿Porque solo se dispone de 2 manómetros, uno calibrado que se usa para auditorias y otro que se usa diariamente?		¿Porque se da prioridad al uso del manómetro calibrado para pasar las auditorias y no se prioriza el control del proceso ?							
Hipótesis	Porque solo se dispone de 2 manómetros, uno calibrado que se usa para auditorias y otro que se usa diariamente	SI	Porque se da prioridad al uso del manómetro calibrado para pasar las auditorias y no se prioriza el control del proceso	SI	Porque no se considero que al usar el manómetro calibrado diariamente, el beneficio de controlar el proceso versus pasar una auditoria seria mayor	SI					No se considero que al usar el manómetro calibrado, el beneficio de controlar el proceso versus pasar una auditoria seria mayor	Instalar el manómetro calibrado en la llave de agua para el control diario y enviar a calibrar el otro manómetro para tenerlo de back up y garantizar también las auditorias
Pregunta	¿Por qué en ocasiones la malla se encuentra sobresaturada con restos de muestras, falta de limpieza?		¿Por qué al realizar varias veces el análisis la malla del tamiz se satura con restos de muestras analizadas y al cambio de turno no se realiza la limpieza ?		¿Por qué existe descuido de realizar la limpieza del tamiz por parte de los analistas ?							
Hipótesis	Porque al realizar varias veces el análisis la malla del tamiz se satura con restos de muestras analizadas y al cambio de turno no se realiza la limpieza	SI	Por que existe descuido de realizar la limpieza del tamiz por parte de los analistas	SI	Porque no se tiene una cultura en garantizar las condiciones de limpieza de los equipos	SI					No se tiene una cultura en garantizar las condiciones de limpieza de los equipos	Crear una cultura de limpieza y orden de los equipos

Fuente: Propia

Como conclusión de la tabla 37 se puede observar que las causas raíz para el problema de alta variación en el retenido del tamiz de malla N°325 son las siguientes:

- No se realizó la gestión correspondiente para la compra de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua
- En el pasado no se llevaba un registro de verificación de la calibración del tamiz
- No se consideró que, al usar el manómetro calibrado, el beneficio de controlar el proceso versus pasar una auditoría sería mayor
- No se tiene una cultura en garantizar las condiciones de limpieza de los equipos

A continuación, en la tabla 38 se presenta un resumen donde se pueden observar todas las causas potenciales, sus causas raíz y las acciones que se podrían implementar.

Tabla 38 Tabla resumen de la fase Análisis

TABLA RESUMEN DE LA FASE ANALISIS		
Causa	Causa Raíz	Acción
Dificultad visual para observar la medida de nivel de líquido del permeabilmetro	Falta de algún tipo de adecuación a este equipo que resalte esta raya al momento de la medición	Implementar en el permeabilmetro algún tipo de adecuación como una iluminación que resalte esta raya al momento de la medición
no existe una estandarización en la preparación de muestras que serán analizadas por fluorescencia de rayos x	No existe instructivos para la preparación de las muestras para análisis mediante fluorescencia de rayos X	Implementar un instructivo para la preparación de muestras para análisis por fluorescencia de rayos X
No existe una estandarización en la preparación de muestras que serán analizadas por difracción de rayos x	No existe instructivos para la preparación de las muestras para análisis mediante difracción de rayos X	Implementar un instructivo para la preparación de muestras para análisis por difracción de rayos X
No se dispone de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua	No se realizó la gestión correspondiente para la compra de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua	Realizar la gestión correspondiente para la compra de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua
La calibración del tamiz es desactualizada	En el pasado no se llevaba un registro de verificación de la calibración del tamiz	Implementar un registro de verificación de la calibración del tamiz con una frecuencia de tiempo determinada
El manómetro de presión no está calibrado	No se consideró que al usar el manómetro calibrado, el beneficio de controlar el proceso versus pasar una auditoría sería mayor	Instalar el manómetro calibrado en la llave de agua para el control diario y enviar a calibrar el otro manómetro para tenerlo de back up y garantizar también las auditorías
Malla sobresaturada con restos de muestras, falta de limpieza	No se tiene una cultura en garantizar las condiciones de limpieza de los equipos	Crear una cultura de limpieza y orden de los equipos

Fuente: Propia

CAPITULO 3

3. MEJORA Y CONTROL

3.1 Mejora

El objetivo de esta etapa de la metodología DMAIC es seleccionar e implementar soluciones que aborden las causas raíz identificadas en la fase de análisis. La implementación de las soluciones debe ser planificada y los resultados de su impacto deberán ser evaluados.

3.1.1 Generar soluciones para la causa raíz

Para generar soluciones para las causas raíz detectadas en la fase de análisis, el equipo DMAIC en las reuniones de trabajo realizó una lluvia de ideas de soluciones como se puede observar en la tabla 39

Tabla 39 Generación de soluciones para las causas raíz

"Y" Enfocada		Causa Raíz		Acción			
1	Alta variación en el Blaine ocasionado por los analistas A, C y D	1	Falta de algún tipo de adecuación a este equipo que resalte esta raya al momento de la medición	1	Implementar en el permeabilímetro algún tipo de adecuación como una iluminación que resalte esta raya al momento de la medición		
				2	Resaltar las medidas de lectura con marcador		
				3	Adquirir nuevos equipos con facilidad de lectura de nivel		
2	Alta variación en los resultados de fluorescencia de rayos X ocasionado por los analistas A, C y D	2	No existe instructivos para la preparación de las muestras para análisis mediante fluorescencia de rayos X	4	Elaboración y difusión de instructivos y especificaciones para la preparación de muestras		
				5	Capacitación de los analistas en cursos de preparación de muestras impartidos por los fabricantes de los equipos		
3	Alta variación en los resultados de difracción de rayos X ocasionado por los analistas A, C y D	3	No existe instructivos para la preparación de las muestras para análisis mediante difracción de rayos X	6	Elaboración y difusión de instructivos y especificaciones para la preparación de muestras		
				7	Capacitación de los analistas en cursos de preparación de muestras impartidos por los fabricantes de los equipos		
4	Alta variación en los resultados del retenido en la malla N°325	4	No se realizó la gestión correspondiente para la compra de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua	8	Realizar la gestión correspondiente para la compra de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua		
				5	En el pasado no se llevaba un registro de verificación de la calibración del tamiz	9	Implementar un registro de verificación de la calibración del tamiz con una frecuencia de tiempo determinada
				6	No se considero que al usar el manómetro calibrado, el beneficio de controlar el proceso versus pasar una auditoria seria mayor	10	Instalar el manómetro calibrado en la llave de agua para el control diario y enviar a calibrar el otro manómetro para tenerlo de back up y garantizar también las auditorias
				7	No se tiene una cultura en garantizar las condiciones de limpieza de los equipos	11	Crear una cultura de limpieza y orden de los equipos

Fuente: Propia

3.1.2 Evaluación de soluciones

De acuerdo con las soluciones generadas en la tabla 39 en esta sección, procederemos a evaluar y priorizar dichas soluciones para ello emplearemos criterios como conocimientos del proceso y del problema, y la experiencia de los expertos en el tema

La priorización de soluciones se realizó para cada “Y” enfocada teniendo lo siguiente

Priorización de soluciones para la “Y” enfocada N°1

Para priorizar las propuestas generadas en la lluvia de ideas de soluciones descritas en la tabla 39 se pidió al equipo DMAIC llenar la siguiente tabla 40, donde se le asigna un valor de que tan bien cumple cada solución para los criterios de esfuerzo e impacto de implementación de dichas soluciones.

La escala de evaluación fue de 1 al 4, siendo mejor=4 y peor=1

Los criterios de evaluación fueron

- Esfuerzo: Se refiere al esfuerzo que representa implantar la solución desde el punto de vista de costo, la facilidad de implementación, el tiempo que tomaría y que tan técnica es dicha solución.
- Impacto: Se refiere a los resultados que se esperarían obtener al implementar la solución.

De acuerdo con estos criterios y escala establecida podemos observar en la tabla 40 la evaluación de las soluciones propuesta para nuestra “Y”

Tabla 40 Evaluación de soluciones para la “Y” enfocada N°1

Soluciones propuestas	Esfuerzo				Ponderado de Esfuerzo	Impacto	
	Fácil	Rápida	Técnica	Costo			
	0.75	0.75	1.5	1			
1	Implementar en el permeabilímetro algún tipo de adecuación como una iluminación que resalte esta raya al momento de la medición	4	4	4	1	3.25	4
2	Resaltar las medidas de lectura con marcador	4	4	1	2	2.375	2
3	Adquirir nuevos equipos con facilidad de lectura de nivel	2	2	3	4	2.875	3

Fuente: Propia

Una vez realizada la evaluación de estas soluciones propuestas las mismas se colocarán en la matriz de priorización de soluciones, esta matriz consiste en un plano cartesiano en el eje x se mide el esfuerzo y en el eje y el impacto, esta matriz se divide en 4 zonas de acuerdo con su ubicación en el plano cartesiano que son:

- Zona verde: La que le conviene aplicar a la empresa
- Zonas amarillas: La decisión de la implementación queda a cargo de la gerencia
- Zona roja: No es conveniente su aplicación.

Quedando nuestra matriz de priorización de soluciones de la siguiente manera:

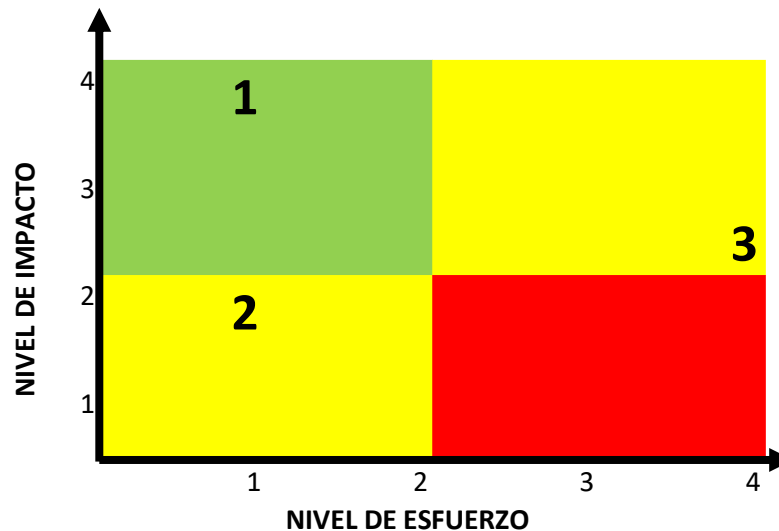


Figura 3.1 Matriz de priorización de soluciones para la “Y” enfocada N°1

Fuente: Propia

Como conclusión de la figura 3.1 podemos decir que la solución a implementar para solucionar la alta variación en los resultados del Blaine será la siguiente:

Implementar en el permeabilmetro algún tipo de adecuación como una iluminación que resalte esta raya al momento de la medición.

Priorización de soluciones para la “Y” enfocada N°2

Para la priorización de las soluciones propuestas para la alta variación en los resultados de fluorescencia de rayos X se tienen las descritas en la tabla 39, donde se puede observar que se plantearon solamente 2 propuestas para este problema y debido a que la segunda propuesta es demasiado costosa, la cual bordea los \$5000, nos queda solo una solución para resolver esta “Y”, la cual es:

Elaboración y difusión de instructivos y especificaciones para la preparación de muestras a ser analizadas por fluorescencia de rayos X.

Priorización de soluciones para la “Y” enfocada N°3

Para la priorización de las soluciones propuestas para la alta variación en los resultados de difracción de rayos X se tienen las descritas en la tabla 39, donde se plantearon solamente 2 propuestas para este problema y debido a que la segunda propuesta es demasiado costosa, la cual bordea los \$5000, nos queda solo una solución para resolver esta “Y”, la cual es:

Elaboración y difusión de instructivos y especificaciones para la preparación de muestras a ser analizadas por difracción de rayos X.

Priorización de soluciones para la “Y” enfocada N°4

Para la priorización de las soluciones propuestas para la alta variación en los resultados del retenido en la malla N°325 debido a que se tiene una propuesta para cada causa raíz y de acuerdo con el conocimiento del proceso y del problema, se estableció se implementarán todas las soluciones propuestas en la tabla 39.

Como resumen de la priorización de soluciones se puede observar la tabla 41 donde se muestran las soluciones que se implementarán para mitigar cada una de las causas raíz.

Tabla 41 Resumen de soluciones a implementar para las causas raíz

"Y" Enfocada		Causa Raíz		Acción	
1	Alta variación en el Blaine ocasionado por los analistas A, C y D	1	Falta de algún tipo de adecuación a este equipo que resalte esta raya al momento de la medición	1	Implementar en el permeabilmetro algún tipo de adecuación como una iluminación que resalte esta raya al momento de la medición
2	Alta variación en los resultados de fluorescencia de rayos X ocasionado por los analistas A, C y D	2	No existe instructivos para la preparación de las muestras para análisis mediante fluorescencia de rayos X	4	Elaboración y difusión de instructivos y especificaciones para la preparación de muestras
3	Alta variación en los resultados de difracción de rayos X ocasionado por los analistas A, C y D	3	No existe instructivos para la preparación de las muestras para análisis mediante difracción de rayos X	6	Elaboración y difusión de instructivos y especificaciones para la preparación de muestras
4	Alta variación en los resultados del retenido en la malla N°325	4	No se realizó la gestión correspondiente para la compra de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua	8	Realizar la gestión correspondiente para la compra de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua
		5	En el pasado no se llevaba un registro de verificación de la calibración del tamiz	9	Implementar un registro de verificación de la calibración del tamiz con una frecuencia de tiempo determinada
		6	No se considero que al usar el manómetro calibrado, el beneficio de controlar el proceso versus pasar una auditoria seria mayor	10	Instalar el manómetro calibrado en la llave de agua para el control diario y enviar a calibrar el otro manómetro para tenerlo de back up y garantizar también las auditorias
		7	No se tiene una cultura en garantizar las condiciones de limpieza de los equipos	11	Crear una cultura de limpieza y orden de los equipos

Fuente: Propia

3.1.3 Planeación e implementación de soluciones

Para la implementación de las soluciones usamos la HERRAMIENTA 5WH2 de acuerdo con tabla 42, de esta manera la implementación se realizó de una forma ordenada en la cual se definió responsables y fechas límites para la implementación de las soluciones

Tabla 42 Planificación de la implementación de soluciones mediante 5WH2

"Y" Enfocada	Causa raíz	¿Qué?	¿Por qué?	¿Como?	¿Donde?	¿Quien?	¿Cuanto?	¿Cuando?	Estado	
1	Alta variación en el Blaine ocasionado por los analistas A, C y D	Falta de algún tipo de adecuación al permeabilmetro que resalte esta raya al momento de la medición	Implementar en el permeabilmetro algún tipo de adecuación como una iluminación que resalte esta raya al momento de la medición	Porque evita lecturas erróneas	Adecuando iluminación en la parte donde se mide el nivel	En el permeabilmetro	Supervisor de control de calidad	\$10	15/06/2021	Completado
2	Alta variación en los resultados de fluorescencia de rayos X ocasionado por los analistas A, C y D	No existe instructivos para la preparación de las muestras para análisis mediante fluorescencia de rayos X	Elaboración y difusión de instructivos y especificaciones para la preparación de muestras	Se garantizará en un 80% el resultado obtenido	Elaboración del instructivo y difusión del mismo mediante implementación de diagramas de flujo en el área de análisis	En el área de preparación de muestras	Supervisor de control de calidad	Sin costo	15/06/2021	Completado
3	Alta variación en los resultados de difracción de rayos X ocasionado por los analistas A, C y D	No existe instructivos para la preparación de las muestras para análisis mediante difracción de rayos X	Elaboración y difusión de instructivos y especificaciones para la preparación de muestras	Se garantizará en un 80% el resultado obtenido	Elaboración del instructivo y difusión del mismo mediante implementación de diagramas de flujo en el área de análisis	En el área de preparación de muestras	Supervisor de control de calidad	Sin costo	15/06/2021	Completado
4	Alta variación en los resultados del retenido en la malla N°325	No se realizó la gestión correspondiente para la compra de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua	Realizar la gestión correspondiente para la compra de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua	Garantizará la disponibilidad de agua las 24 horas del día	Implementado un sistema de 2 tanques y una bomba que garantice la disponibilidad del agua cuando se corte el servicio público	En la parte trasera del laboratorio de control de calidad	Jefe de control de calidad	\$1,000	30/04/2021	Completado
		En el pasado no se llevaba un registro de verificación de la calibración del tamiz	Implementar un registro de verificación de la calibración del tamiz con una frecuencia de tiempo determinada	Garantiza el resultado del retenido	Mediante un registro de verificación de la calibración	En el plan de registro de equipos y medición	Supervisor de control de calidad	Sin costo	30/04/2021	Completado
		No se considero que al usar el manómetro calibrado, el beneficio de controlar el proceso versus pasar una auditoria seria mayor	Instalar el manómetro calibrado en la llave de agua para el control diario y enviar a calibrar el otro manómetro para tenerlo de back up y garantizar también las auditorias	Garantiza la presión de agua de trabajo	Cambiar el manómetro sin calibrar en la llave de agua por el manómetro calibrado	En la llave de agua	Supervisor de control de calidad	Sin costo	30/04/2021	Completado
		No se tiene una cultura en garantizar las condiciones de limpieza de los equipos	Crear una cultura de limpieza y orden de los equipos	Porque evita resultados erróneos por falta de limpieza de los equipos	Charlas y notificación a los analistas sobre limpieza y orden	En el laboratorio de control de calidad	Jefe y/o supervisor de control de calidad	Sin costo	31/07/2021	Completado

Fuente: Propia

De acuerdo con la tabla 42 se describirá a continuación como se implementaron cada una de las soluciones

Implementar en el permeabilmetro una iluminación que resalte la raya de nivel de líquido al momento de realizar la medición

La implementación de esta mejora consistió en adecuar en el permeabilmetro una iluminación que resalta la lectura de nivel de líquido cuando se realiza el ensayo del Blaine, fue una implementación sencilla de fácil ejecución con un gran impacto. En la figura 3.2 se visualiza esta implementación.



Figura 3.2 Implementación de iluminación en el permeabilímetro

Fuente: Propia

Elaboración y difusión de instructivos y especificaciones para la preparación de muestras para el análisis por fluorescencia de rayos X

La implementación de esta mejora consistió en elaborar un instructivo para la preparación de muestras para el análisis por fluorescencia de rayos X, este instructivo se puede visualizar en el "Anexo 12"

Este instructivo se socializó con los analistas de control de calidad en las reuniones de revisión de resultados del desempeño del laboratorio, el mismo también fue difundido vía correo electrónico a las personas involucradas en el análisis de fluorescencia de rayos X

Este instructivo permitirá obtener una pastilla prensada en excelentes condiciones como se muestra en la figura 3.3, la misma no tiene fisuras ni desprende restos de muestra, no solo permitirá un resultado correcto también permitirá cuidar la vida útil del tubo de rayos X del equipo de fluorescencia.



Figura 3.3 Pastilla prensada adecuadamente

Fuente: Propia

Elaboración y difusión de instructivos y especificaciones para la preparación de muestras para el análisis por difracción de rayos X

La implementación de esta mejora consistió en elaborar un instructivo para la preparación de muestras para el análisis por difracción de rayos X, este instructivo se puede visualizar en el "Anexo 13"

Este instructivo se socializó con los analistas de control de calidad en las reuniones de revisión de resultados del desempeño del laboratorio, el mismo también fue difundido vía correo electrónico a las personas involucradas en el análisis de fluorescencia de rayos X

El presente instructivo permitirá eliminar errores como garantizar que los insumos usados sean los adecuados para el análisis, como ejemplo se puede observar en la figura 3.4 la diferencia entre un anillo portamuestras mal preparado y desgastado versus uno adecuado y limpio.



Figura 3.4 Diferencia del estado del anillo porta muestras del antes vs después

Fuente: Propia

Implementación de soluciones para resolver la alta variación en los resultados del ensayo del retenido de la malla N°325

Las soluciones para atacar las causas raíz de esta “Y” enfocada son las siguientes:

- Realizar la gestión correspondiente para la implementación de un sistema pulmón para el abastecimiento de agua
- Implementar un registro de verificación de la calibración del tamiz con una frecuencia de tiempo determinada
- Instalar el manómetro calibrado en la llave de agua para el control diario y enviar a calibrar el otro manómetro para tenerlo de back up y garantizar también las auditorías
- Crear una cultura de limpieza y orden de los equipos

La implementación de estas soluciones se puede observar en las figuras 3.5, 3.6 y 3.7 respectivamente a excepción de la implementación de un registro de verificación del tamiz, el cual se evidencia en el “Anexo 14”



Figura 3.5 Implementación de un sistema pulmón de agua para el laboratorio de control de calidad

Fuente: Propia



Figura 3.6 Implementación de un manómetro calibrado y certificado para el control de presión del agua

Fuente: Propia



Figura 3.7 Charlas sobre limpieza y orden con el personal del laboratorio de calidad

Fuente: Propia



Figura 3.8 Resultados de las charlas sobre orden y limpieza (área de lavado de la muestra para el ensayo del retenido)

Fuente: Propia



Figura 3.9 Resultados de las charlas sobre orden y limpieza (ubicación e identificación del tamiz)

Fuente: Propia



Figura 3.10 Resultados de las charlas sobre orden y limpieza (limpieza de la malla del tamiz)

Fuente: Propia

3.1.4 Resultados de la implementación de las soluciones

Una vez implementadas las soluciones para abordar cada causa raíz es importante evaluar el resultado que las mismas generaron, es así como evaluaremos para cada

problema enfocado el resultado que se obtuvo y finalmente evaluaremos si se obtuvo una mejora con respecto al desempeño del laboratorio de control de calidad

Alta variación en los resultados del Blaine ocasionado por los analistas A, C y D

A continuación, presentamos la figura 3.11 donde se puede observar los coeficientes de variación obtenidos en las evaluaciones de ZSCORE para el ensayo del Blaine, los resultados de enero a mayo son antes de la mejora y los datos de junio corresponden a después de la mejora implementada.

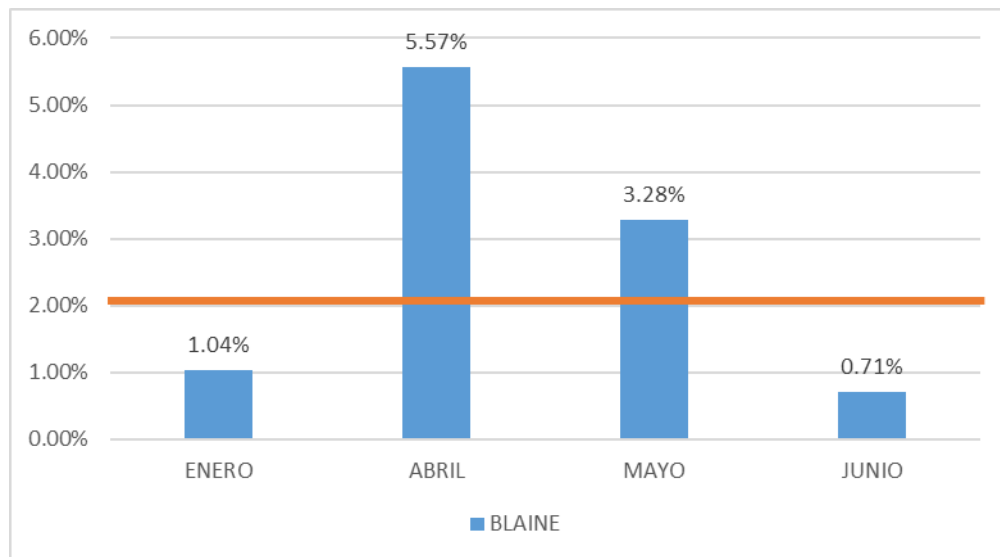


Figura 3.11 Resultados del coeficiente de variación para las evaluaciones de ZSCORE del ensayo del Blaine

Fuente: Propia

Como conclusión de esta gráfica 3.11 podemos decir que el coeficiente de variación disminuye considerablemente después de las mejoras implementadas incluso permite cumplir la especificación de la norma ASTM, la cual indica que el coeficiente de operación para una misma muestra analizada por varios operadores debe ser menor a 2.1%

Alta variación en los resultados de fluorescencia de rayos X ocasionado por los analistas A, C y D

A continuación, presentamos la gráfica 3.12 los coeficientes de variación obtenidos en las evaluaciones de ZSCORE para el análisis por fluorescencia de rayos X, los resultados de enero a mayo son antes de la mejora y los datos de junio corresponde después de la mejora implementada.

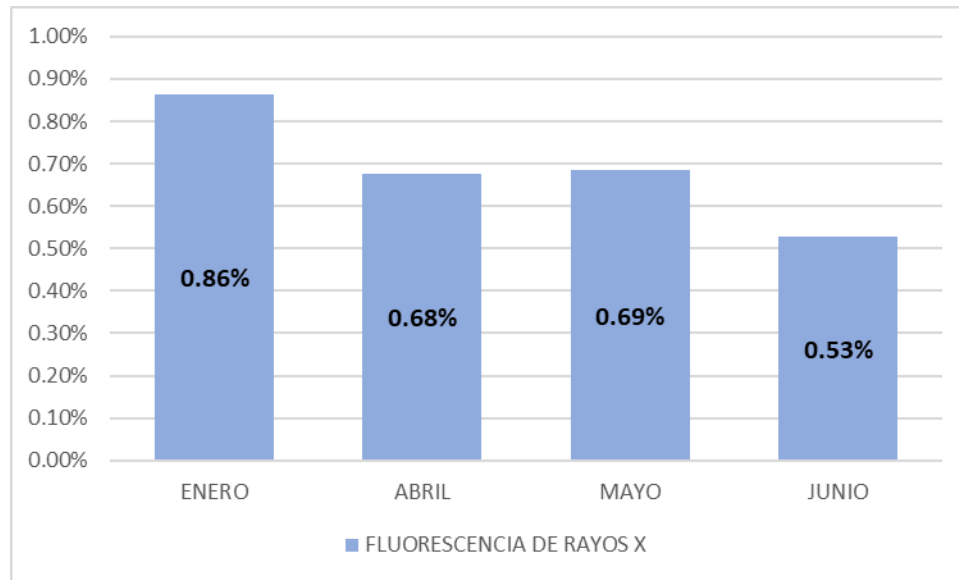


Figura 3.12 Resultados del coeficiente de variación para las evaluaciones de ZSCORE del ensayo por fluorescencia de rayos X

Fuente: Propia

Como conclusión, podemos decir que el coeficiente de variación disminuye después de las mejoras implementadas, esta disminución permitirá que las calificaciones de las variables de análisis por fluorescencia de rayos X tengan una mejor calificación y por ende un mejor resultado del desempeño del laboratorio.

Alta variación en los resultados de difracción de rayos X ocasionado por los analistas A, C y D

A continuación, presentamos la figura 3.13 donde se observan los coeficientes de variación obtenidos en las evaluaciones de ZSCORE para el análisis por difracción de rayos X, los resultados de enero a mayo son antes de la mejora y los datos de junio corresponde después de la mejora implementada.

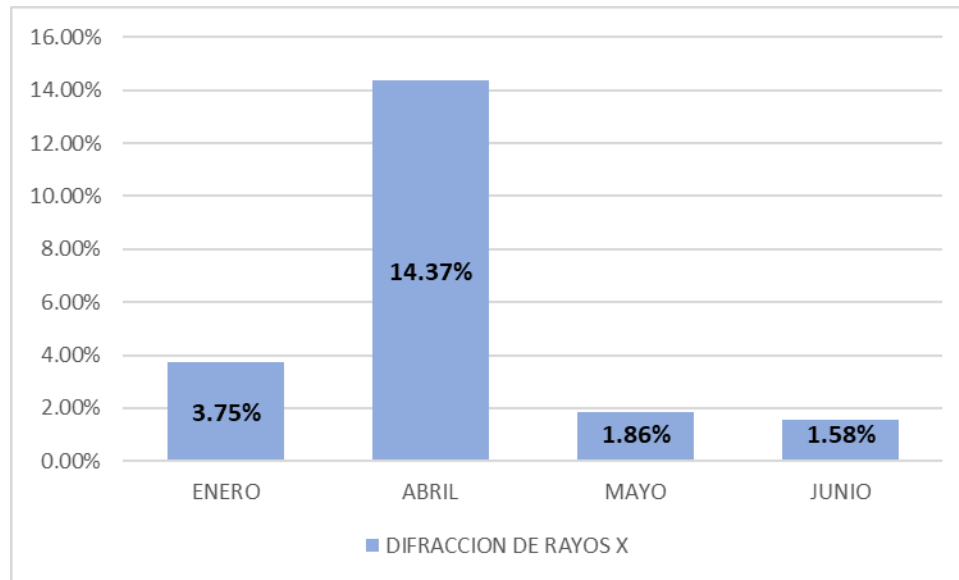


Figura 3.13 Resultados del coeficiente de variación para las evaluaciones de ZSCORE del ensayo por fluorescencia de rayos X

Fuente: Propia

Como conclusión, podemos decir que el coeficiente de variación disminuye después de las mejoras implementadas, esta disminución permitirá que las calificaciones de las variables de análisis por difracción de rayos X sean mejores y por ende el resultado del desempeño del laboratorio sea mejor.

Alta variación en los resultados del retenido en la malla N°325

A continuación, presentamos la figura 3.14 donde se puede observar para cada mes el valor obtenido de la diferencia del valor máximo menos el valor mínimo de los datos analizados por los 5 analistas para una misma muestra, en esta gráfica los datos de enero y abril corresponden a los datos antes de las mejoras mientras que los datos de mayo y junio corresponden a los resultados obtenidos después de las mejoras implementadas.

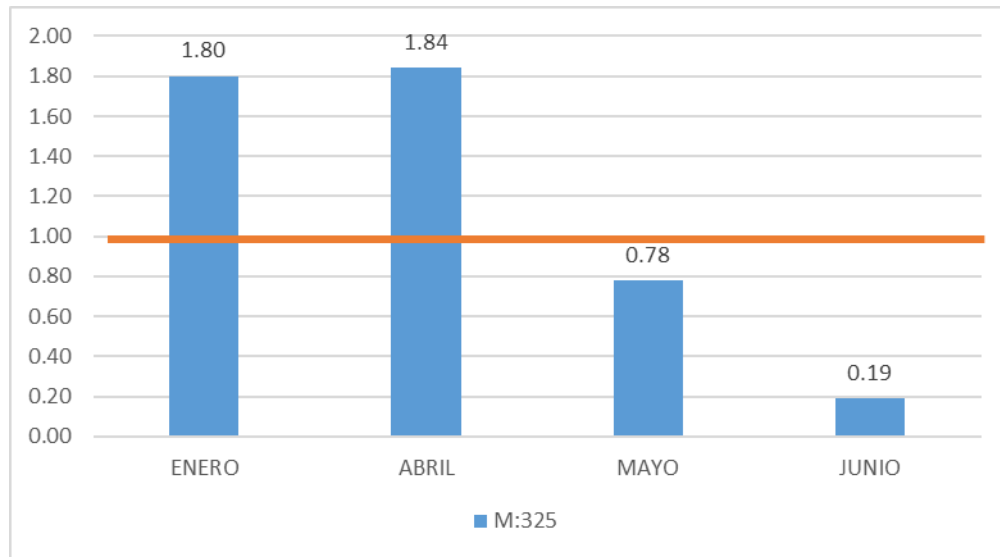


Figura 3.14 Resultados de la diferencia del valor máximo menos el valor mínimo para cada mes, del ensayo del retenido en la malla N°325

Fuente: Propia

Se concluye que la variación en los resultados obtenidos para el ensayo del retenido en la malla N°325 disminuye considerablemente, permitiendo cumplir la especificación de la norma ASTM C430, la cual especifica que la variación máxima permitida entre operadores para una misma muestra es de $\pm 0.5\%$, es decir la diferencia entre el valor máxima menor es el valor mínimo debe ser máximo de 1, como se observa en la figura para los meses de mayo y junio después de implementadas las mejoras se cumple esta especificación.

Una vez demostrado que las mejoras implementadas permitieron obtener excelentes resultados sobre las Y's enfocadas procederemos a evaluar si se alcanzó el objetivo planteado en la fase de definición que se indica a continuación:

“Incrementar el porcentaje de desempeño del laboratorio de control de calidad de 76.77% a 78.64%”. En la figura 1.35 se observa el resultado del desempeño del laboratorio obtenido para el mes de junio del 2021 con las mejoras implementadas, de igual manera se puede observar los resultados para los meses de enero, abril y mayo que serían antes de implementar las soluciones.

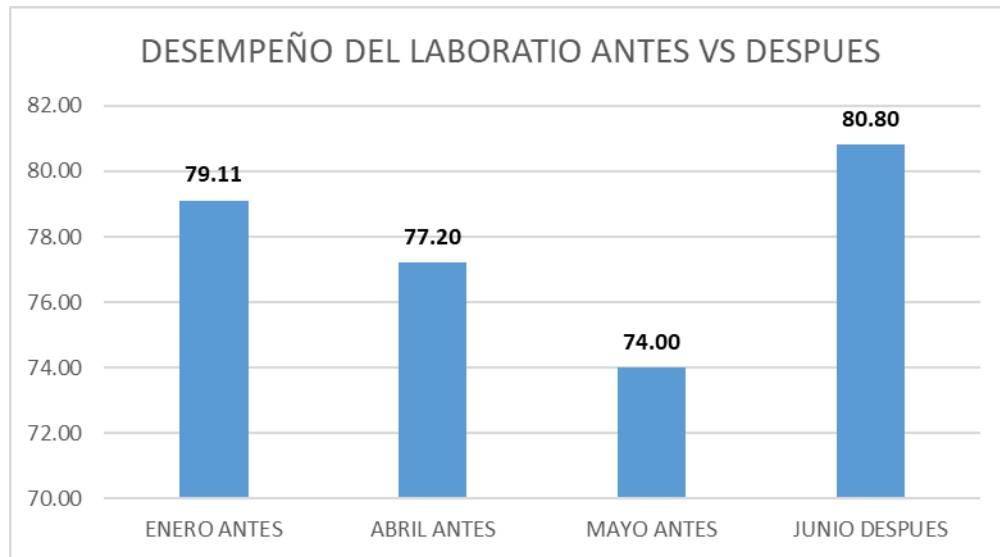


Figura 3.15 Resultados del Antes vs Después del desempeño del laboratorio

Fuente: Propia

De la figura 3.15 podemos concluir que las mejoras implementadas nos han permitido alcanzar un mejor desempeño del laboratorio para el mes de junio del 2021, incluso se obtuvo un resultado superior al objetivo planteado en este proyecto que fue de 78.64%

3.1.5 Análisis de capacidad del proceso después de las mejoras implementadas

Para realizar el análisis de capacidad del proceso después de las mejoras implementadas tomaremos todos los datos de ZSCORE de la evaluación correspondiente al mes de junio del 2021 realizada a los 5 analistas en el laboratorio de control de calidad.

El primer paso que realizamos para determinar la capacidad del proceso es determinar qué tipo de distribución siguen nuestros datos para ello emplearemos el software Minitab.

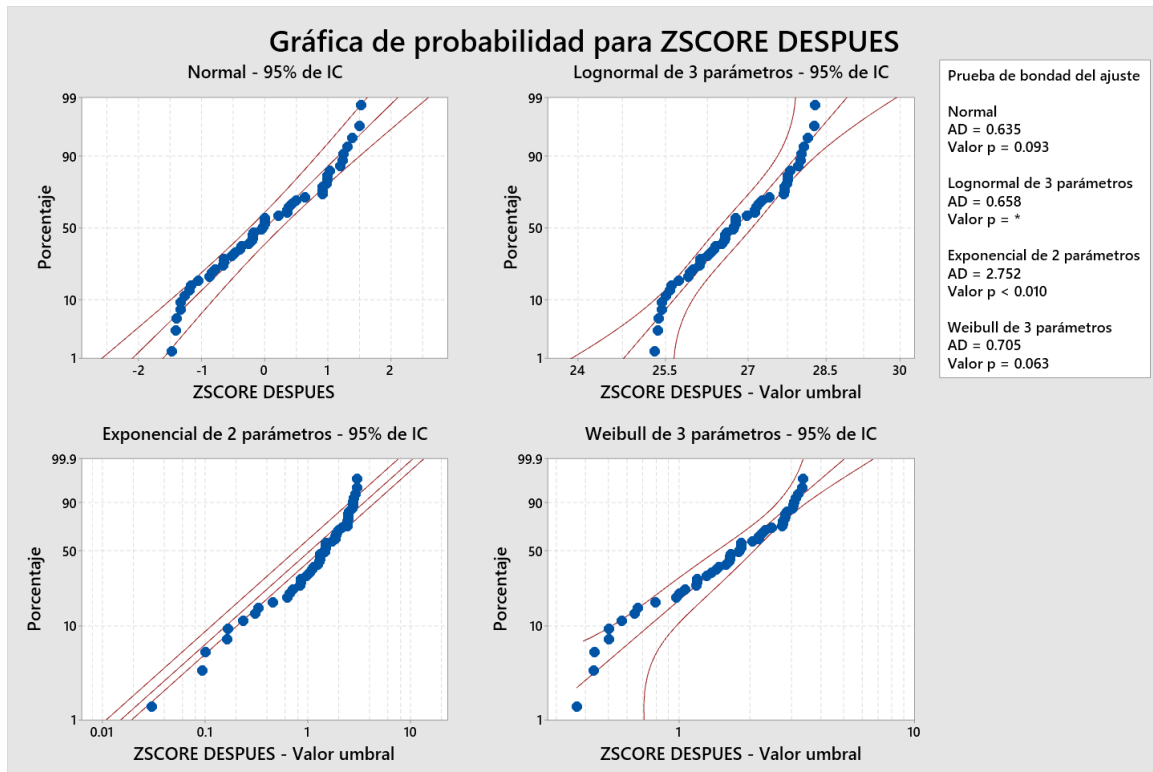


Figura 3.16 Identificación de la distribución individual

Fuente: Propia

Como conclusión de la figura 3.16 podemos decir que a pesar de que en la gráfica para el análisis de normalidad se obtiene un valor p de 0.093 en la gráfica se puede ver que nuestros datos no se ajustan de una manera idónea al modelo puesto que los datos de los extremos se encuentran en los límites del modelo por ello continuaremos con el análisis de la identificación de la distribución.

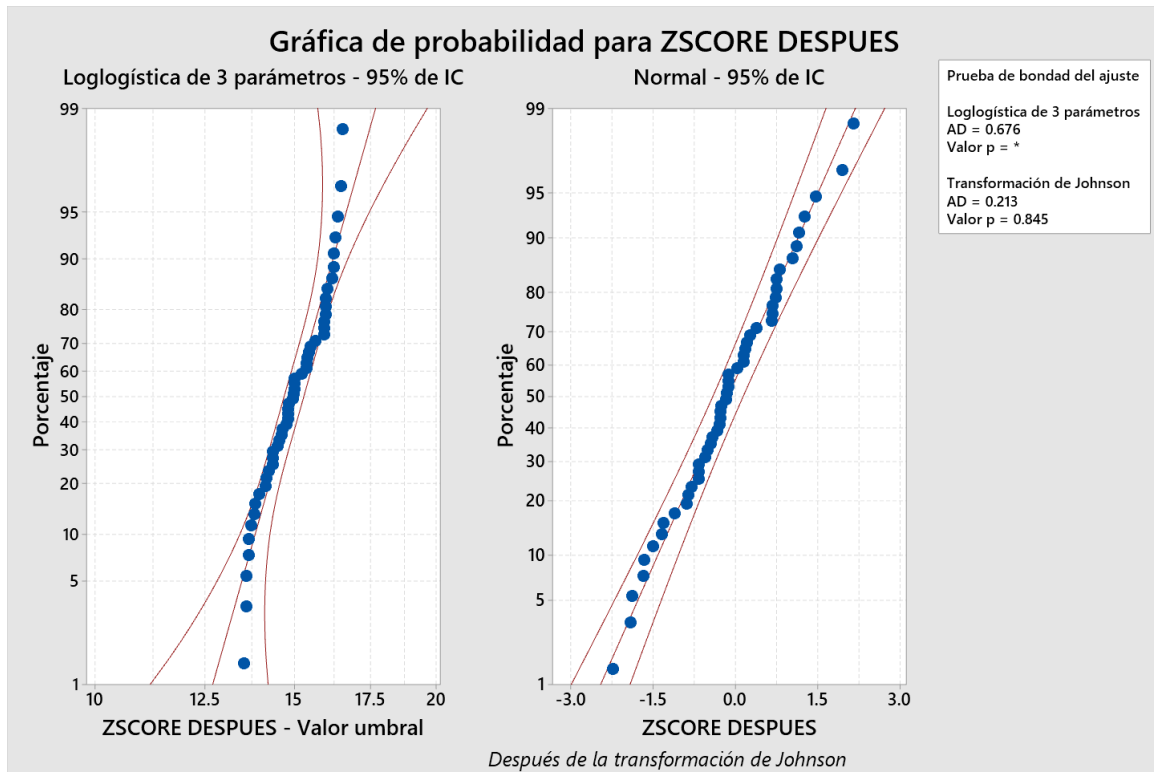


Figura 3.17 Identificación de la distribución individual

Fuente: Propia

De la figura 3.17 podemos concluir que con el valor p de 0.845 y observando en la gráfica el ajuste de los datos al modelo, podemos decir que nuestros datos se ajustan de mejor manera a la “Transformación de Johnson”.

Con estos datos de la transformación de Johnson se realizó la gráfica de control con la finalidad de evaluar si el proceso se encuentra dentro de control como se observa a continuación:

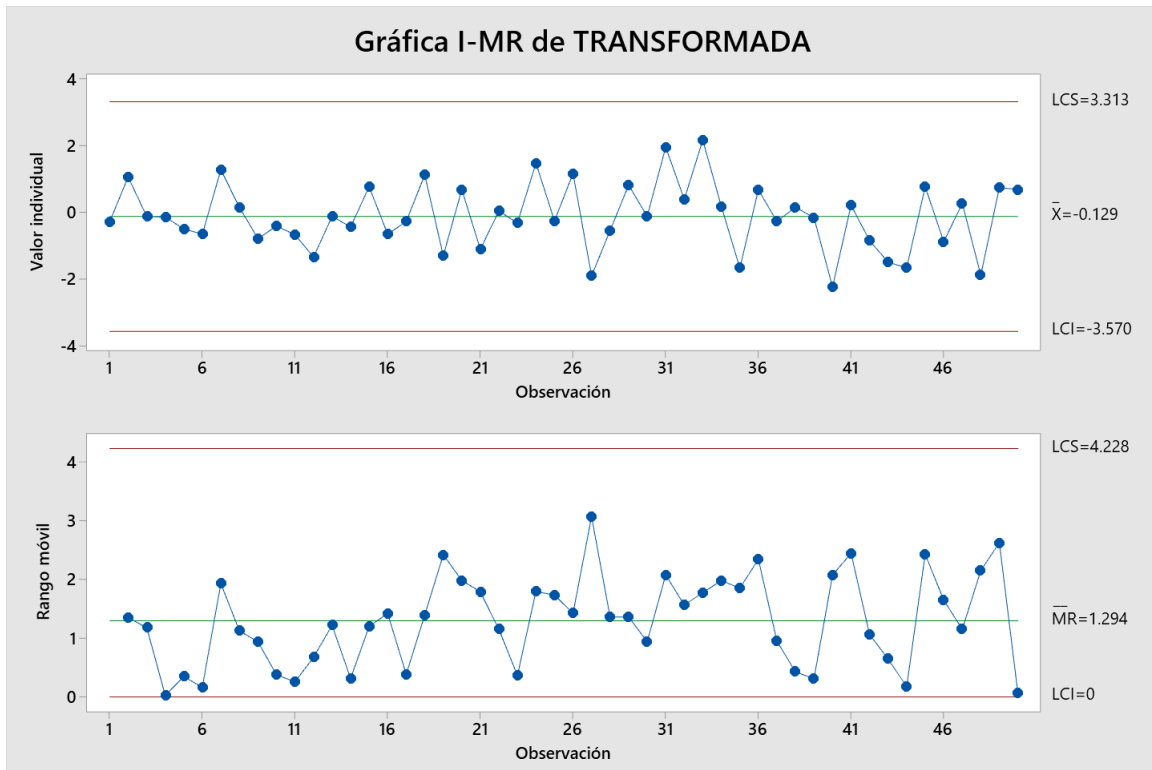


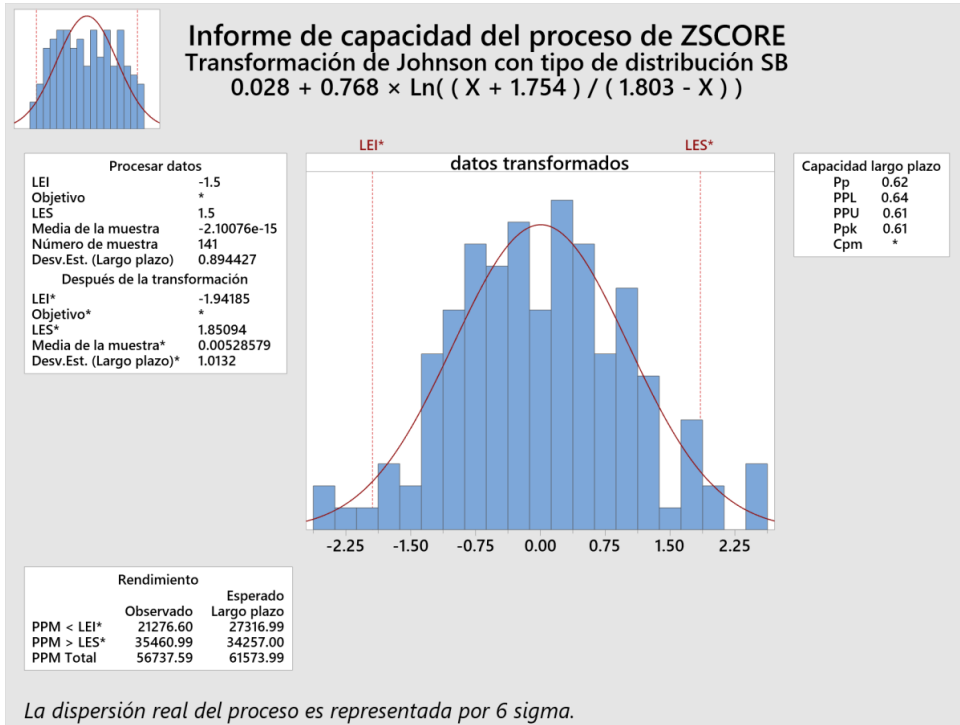
Figura 3.18 Gráfica de control para datos individuales

Fuente: Propia

De la figura 3.18 se puede concluir que el proceso se encuentra bajo control estadístico, como se puede observar en la presente gráfica el proceso no presenta valores fuera de los límites de control ni presenta tendencias.

Posterior al análisis de la gráfica de control se procedió con el análisis de capacidad del proceso para los datos transformados obteniendo la figura 3.19, en la cual se puede observar el análisis de capacidad de proceso antes vs después

ANTES



DESPUES

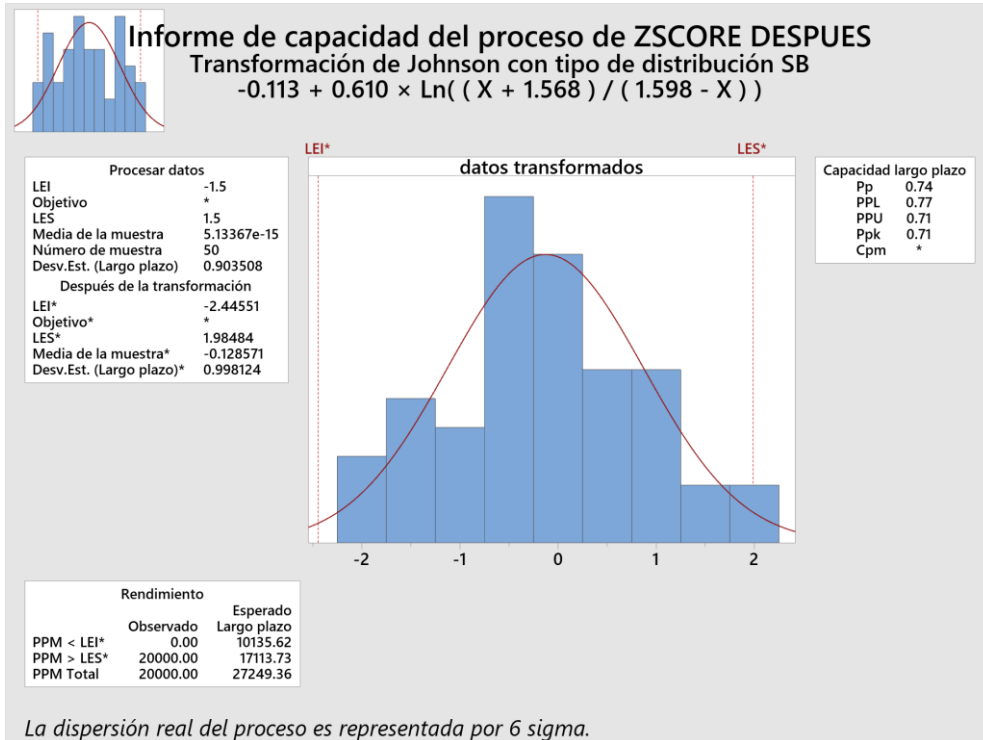


Figura 3.19 Análisis de capacidad del proceso Antes vs Después

Fuente: Propia

Como conclusión de la figura 3.19 se establece que el proceso mejoró, el Ppk pasó de 0.61 a 0.71, adicional a ello podemos mencionar que las partes por millón cayeron de 61,573.99 a 27,249.36, es decir que los datos por encima de los límites establecidos cayeron de 6.15% a 2.72%

3.2 Control

Es la última fase de la metodología DMAIC en la que se busca sostener las mejoras implementadas en el tiempo, de manera que se puedan estandarizar las mismas mediante la transferencia de conocimientos a los involucrados, se busca establecer un plan de control y reacción para garantizar los resultados obtenidos.

En esta fase de la metodología se dejó establecido un plan de control y de reacción que permita mantener los resultados en el tiempo

3.2.1 Check list de análisis de relevancia

Para poder garantizar que los ensayos que fueron establecidos como problemas enfocados no vuelvan a presentar una variación excesiva en los resultados, se implementó un check list de parámetros que se deben cumplir para realizar un correcto análisis, para ello en cada evaluación mensual realizada a los analistas de control de calidad junto con el registro de "Informe de resultados evaluación ZSCORE" el cual se puede visualizar en el "Anexo 7", se deberá reportar el Check list de especificaciones para análisis de relevancia que se muestra en la tabla 43.

Tabla 43 Checklist de especificaciones para análisis de relevancia

LISTA DE CHEQUEO DE ESPECIFICACIONES DE ANÁLISIS RELEVANTES			
Realizado por:			
Revisado por:			
Fecha de análisis:			
Ensayo	Parámetro de control	Cumple (SI o NO)	Cumple limpieza del área y del equipo de análisis
Blaine	Usa la Iluminación instalada en el equipo		
Fluorescencia de rayos X	Cumple instructivo de preparación de muestras		
Difracción de rayos X	Cumple instructivo de preparación de muestras		
Retenido en malla N° 325	Limpieza de la malla del tamiz		
	Tiempo de lavado de la muestra de 1 minuto		
Perdidas al fuego	Tiempo de calcinación (40 minutos)		
Observaciones:			

Fuente: Propia

3.2.2 Plan de control

En el siguiente plan de control que se muestra en la tabla 44 se detalla el mecanismo de control que se debe seguir para garantizar los resultados del porcentaje de desempeño del laboratorio de control de calidad en el tiempo.

Tabla 44 Plan de Control

Plan de Control				
Process	Control de calidad			
Project	Incrementar el porcentaje del desempeño del laboratorio por encima de 78.64%			
Process Owner	Jefe de control de calidad			
Project leader	Supervisor de control de calidad			
What	How	Who	When	Deliverables
Revisión del porcentaje de desempeño del laboratorio	Reunión de resultados	Jefe y/o supervisor de control de calidad	Mensual	Presentación en Power point de resultados
Aplicación de especificaciones para análisis relevantes	Seguimiento	Jefe y/o supervisor de control de calidad	En cada evaluación	Lista de chequeo de especificaciones de análisis relevantes

Fuente: Propia

3.2.3 Plan de reacción

Debido a los resultados obtenidos como parte del proyecto de mejora, el objetivo del porcentaje de desempeño mínimo del laboratorio de control de calidad después de este proyecto quedo establecido en un valor mínimo de 79%, en caso de que esta variable de respuesta disminuya se deben tomar inmediatamente acciones que permitan retomar los niveles alcanzados, estas acciones esta detalladas en el plan de reacción que se muestra en la figura 3.20.

Plan de reacción | Porcentaje desempeño

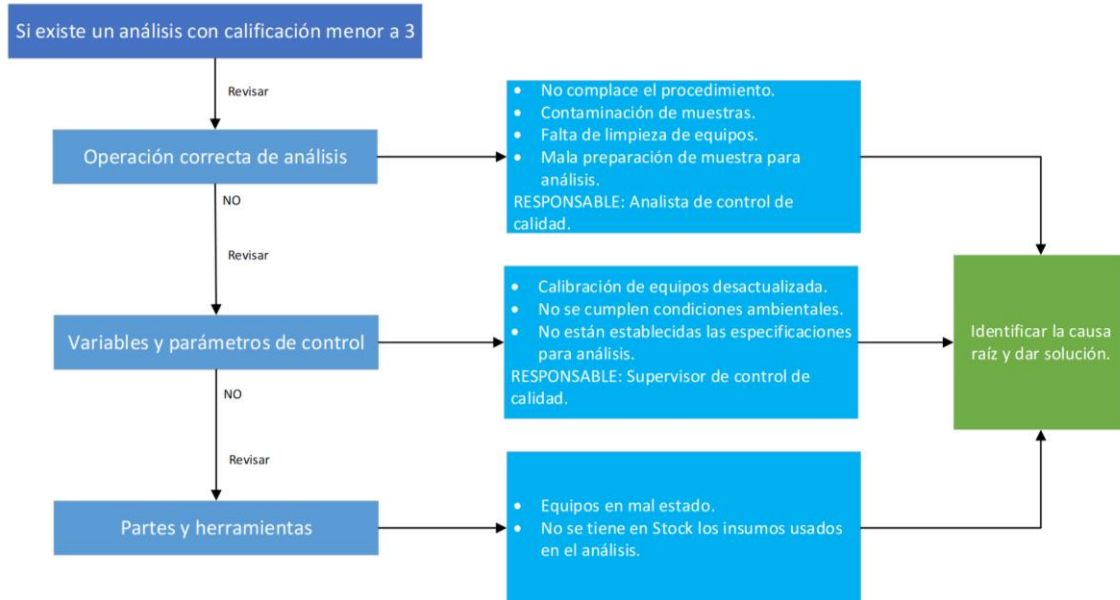


Figura 3.20 Plan de reacción

Fuente: Propia

CAPITULO 4

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

- En un laboratorio de control de calidad es complicado emplear una técnica que permita evaluar y mejorar este proceso, pues lo tradicional es cumplir los procedimientos y emitir los resultados de los análisis, con este proyecto de titulación pudimos darnos cuenta de que la metodología DMAIC combinada con la evaluación del desempeño ZSCORE nos permite establecer la realidad actual del proceso y una vez implementada las técnicas de la metodología DMAIC mejorar esta realidad.
- Para un empleo adecuado de esta metodología es importante contar con el apoyo gerencial y de la alta dirección, en caso de no contar con ello el proyecto estará destinado al fracaso
- Una vez que se contó con el apoyo de la alta dirección fue importante establecer el equipo de trabajo, recolectar datos y realizar el análisis de las causas raíz que ocasionaban el bajo desempeño del laboratorio. Posterior para cada causa se debió encontrar una solución, y luego de su implementación se evaluaron los resultados obtenidos, para finalmente establecer un plan de reacción que permitan mantener los resultados logrados en el tiempo.
- Para lograr los resultados esperados al implementar la metodología DMAIC es de vital importancia que las condiciones básicas del laboratorio, de los equipos y de las marchas analíticas estén garantizadas o a su vez que estas sean restablecidas.
- En nuestro proyecto fueron detectados 4 problemas enfocados:
 - a) Alta variación en el Blaine ocasionado por los analistas A, C y D
 - b) Alta variación en los resultados de fluorescencia de rayos X ocasionado por los analistas A, C y D
 - c) Alta variación en los resultados de difracción de rayos X ocasionado por los analistas A, C y D
 - d) Alta variación en los resultados del retenido en la malla N°325
- Para estos problemas enfocados se encontraron soluciones fáciles e innovadoras para atacar sus casus raíz, para el problema “a” la solución fue implementar iluminación en el equipo, para los problemas enfocados “b” y “c” la solución fue elaborar un instructivo para la preparación de muestras y para el problema “d” la solución básicamente radicó en restablecer condiciones básicas y crear una cultura de limpieza y orden en el laboratorio.
- Luego de implementar las soluciones para resolver estos problemas enfocados no solo se logró alcanzar el objetivo planteado de este proyecto, que fue obtener un porcentaje de desempeño del laboratorio de 78.64%, sino que se obtuvo un porcentaje mucho mayor de 80.8% de desempeño del laboratorio.
- No solo se mejoró el porcentaje de desempeño del laboratorio, sino que para cada problema enfocado se obtuvo excelentes resultados como se indica a continuación:

- a) El ensayo del Blaine de presentar un coeficiente de variación máximo de 5.57% se redujo hasta 0.71%
 - b) El ensayo de fluorescencia de rayos X de presentar un coeficiente de variación máximo de 0.86% se redujo hasta 0.53%
 - c) El ensayo de difracción de rayos X de presentar un coeficiente de variación máximo de 14.37% se redujo hasta 1.58%
 - d) El ensayo del retenido en la malla N°325 de presentar una diferencia entre el valor máximo vs el valor mínimo de 1.8 y 1.84 antes de las mejoras pasó a presentar una diferencia de hasta 0.19, reduciendo notablemente la variación
- No solo se cumplió con mejorar el porcentaje de desempeño del laboratorio, estas mejoras permitieron cumplir requisitos de las normas ASTM para el ensayo del Blaine que nos indica que el coeficiente de variación máximo permitido es de 2.1% y del retenido en la malla 325 que nos indica que la diferencia máxima entre el valor máximo y el valor mínimo debería ser de 1, especificaciones de la norma que anteriormente no se cumplían.
 - Al inicio de este proyecto se tenía un proceso fuera de control y que no era capaz de cumplir con las especificaciones, luego de implementar la metodología DMAIC se logró que el proceso este dentro de control y si bien no se logró un valor de Ppk para definirlo como un proceso capaz, se logró mejorar de un valor de Ppk de 0.61 a 0.71, las partes por millón esperadas que se encuentren fuera de los límites de control pasaron de 61,573.99 a 27,249.36
 - Es importante mencionar que se obtuvo un valor bajo de Ppk debido a que las exigencias establecidas para este proyecto de evaluación del desempeño del laboratorio mediante la puntuación ZSCORE fueron muy ambiciosas, tratando de reducir las variaciones al mínimo.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda continuar con las evaluaciones del desempeño del laboratorio de control de calidad y con las reuniones de revisión del método con la finalidad de mantener estos resultados logrados en el tiempo, para ello es de vital importancia seguir el plan de acción y de reacción que quedan establecidos en la fase de control de este proyecto.
- Se recomienda continuar con las charlas sobre limpieza y orden del laboratorio de control de calidad puesto que permitirá que los ensayos cada vez sean más meticulosos y por ende se obtendrán mejores resultados.
- Se recomienda continuar mes a mes con la evaluación de la capacidad del proceso con el objetivo de incrementar el valor de Ppk, debido a que no se tiene problemas de localización sino solo de dispersión es importante seguir trabajando para disminuir la variación en cada uno de los análisis
- Finalmente, se recomienda capacitación sobre manufactura esbelta y seis sigma a los analistas de control de calidad, pues si bien es personal con muchos años de experiencia, el entrenamiento y la mejora constantes son las únicas herramientas que garantizan el éxito para llevar un proceso hacia un nivel de clase mundial.

BIBLIOGRAFÍA

- Shankar, R. (2009). *Process Improvement Using Six Sigma* (p. 127). ASQ Quality Press.
- Kumar, D. (2006). *Six Sigma Best Practices* (pp. 1–474). J. Ross Publishing.
- Kumaravadivel, A., & Natarajan, U. (2013). Application of Six-Sigma DMAIC methodology to sand-casting process with response surface methodology. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69(5–8), 1403–1420. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5119-2>
- Tong, J. P. C., Tsung, F., & Yen, B. P. C. (2004). A DMAIC approach to printed circuit board quality improvement. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 23(7–8), 523–531. <https://doi.org/10.1007/s00170-003-1721-z>
- Sharma, G. V. S. S., Rao, P. S., & Babu, B. S. (2018). Process capability improvement through DMAIC for aluminum alloy wheel machining. *Journal of Industrial Engineering International*, 14(2), 213–226. <https://doi.org/10.1007/s40092-017-0220-z>
- Desai, D. A., Kotadiya, P., Makwana, N., & Patel, S. (2015). Curbing variations in packaging process through six sigma way in a large-scale food-processing industry. *Journal of Industrial Engineering International*, 11(1), 119–129. <https://doi.org/10.1007/s40092-014-0082-6>
- Sharma, G. V. S. S., & Rao, P. S. (2014). A DMAIC approach for process capability improvement an engine crankshaft manufacturing process. *Journal of Industrial Engineering International*, 10(2). <https://doi.org/10.1007/s40092-014-0065-7>
- Urgilés Castro, M. (2017). *Reducción del consumo de agua en una fábrica de alimentos (Tesis de Pregrado)*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, Ecuador
- Elbireer, A., le Chasseur, J., & Jackson, B. (2013). Improving laboratory data entry quality using Six Sigma. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 26(6), 496–509. <https://doi.org/10.1108/IJHCQA-08-2011-0050>
- 50Minutos. *El Método Seis Sigma: Mejore Los Resultados de Su Negocio*, Lemaitre Publishing, 2016. *ProQuest Ebook Central*, <https://www.proquest.com/legacydocview/EBC/5335778?accountid=171402>.
- Poveda, J., & Guardiola, M. (2019). *Conformidades Root Cause Analysis. Techniques and Relationship With Management Systems and Non - Compliance*. 8, 84–97.
- Moya, A., & Urriola, S. (2011). *Reducción del desperdicio de madera en el proceso de aserrado de una empresa procesadora de madera balsa (Tesis de Pregrado)* [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/19134>

ANEXOS

ANEXO 1

TABLA DE DATOS ATÍPICOS DE GRUBBS

Number of Observations n	Values of Grubbs Statistic (G)					
	Confidence Level (%)					
	99.9	99.5	99	97.5	95	90
3	1.155	1.155	1.155	1.155	1.153	1.148
4	1.499	1.496	1.492	1.481	1.463	1.425
5	1.780	1.764	1.749	1.715	1.672	1.602
6	2.011	1.973	1.944	1.887	1.822	1.729
7	2.201	2.139	2.097	2.020	1.938	1.828
8	2.358	2.274	2.221	2.126	2.032	1.909
9	2.492	2.387	2.323	2.215	2.110	1.977
10	2.606	2.482	2.410	2.290	2.176	2.036
11	2.705	2.564	2.485	2.355	2.234	2.088
12	2.791	2.636	2.550	2.412	2.285	2.134
13	2.867	2.699	2.607	2.462	2.331	2.175
14	2.935	2.755	2.659	2.507	2.371	2.213
15	2.997	2.806	2.705	2.549	2.409	2.247
16	3.052	2.852	2.747	2.585	2.443	2.279
17	3.103	2.894	2.785	2.620	2.475	2.309
18	3.149	2.932	2.821	2.651	2.504	2.335
19	3.191	2.968	2.854	2.681	2.532	2.361
20	3.230	3.001	2.884	2.709	2.557	2.385
30	3.507	3.236	3.103	2.908	2.745	2.563
40	3.673	3.381	3.240	3.036	2.866	2.682
50	3.789	3.483	3.336	3.128	2.956	2.768
60	3.874	3.560	3.411	3.199	3.025	2.837
70	3.942	3.622	3.471	3.257	3.082	2.893
80	3.998	3.673	3.521	3.305	3.130	2.940
90	4.044	3.716	3.563	3.347	3.171	2.981
100	4.084	3.754	3.600	3.383	3.207	3.017

(Fuente: NORMA ASTM E178-00 "Standard Practice for Dealing with Outlying Observations")

ANEXO 2

PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

PROPOSITO:

Establecer el instructivo para la realización de análisis de muestras por fluorescencia de rayos x.

ALCANCE:

Se aplica esta instrucción al análisis de muestras de arcillas, caliza, crudo, clínker, yeso, puzolana, cemento.

DEFINICIONES:

- **Arcilla:** Suelo o roca sedimentaria, plástica y tenaz cuando se humedece. Se endurece permanentemente cuando se cuece o calcina.
- **Caliza:** Tipo común de roca sedimentaria, compuesta por calcita (carbonato de calcio, CaCO_3). Cuando se calcina (se lleva a alta temperatura) da lugar a cal (óxido de calcio, CaO). La caliza cristalina metamórfica se conoce como mármol.
- **Yeso:** Mineral común consistente en sulfato de calcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
- **Crudo:** Material calcáreo que ha pasado por el proceso de trituración y molienda, y se ha seleccionado para continuar con el proceso.
- **Clínker Portland:** Es el producto de la cocción a altas temperaturas de una mezcla íntima de materiales arcillosos y calcáreos finamente molidos antes de su cocción y en proporciones determinadas.
- **Cemento Portland:** Producto de moler a una fineza determinada el clínker portland con un porcentaje adecuado en masa de yeso. Puede molerse con otros materiales (puzolana, escoria etc.) dando lugar a los diferentes tipos de cemento.
- **Espectrómetro:** Instrumento que genera, analiza y registra espectros y que permite determinar la composición química por medio de la incidencia de rayos x a través de la técnica de fluorescencia de rayos x sobre la muestra de estudio.

RESPONSABILIDADES:

La aplicación de este instructivo es responsabilidad del Supervisor de Control de Calidad, Analista de Control de Calidad y Ayudante de Fabricación y Muestreo.

EQUIPO:

- Chapas de aluminio
- Vibromolino
- Prensa Hidráulica

- Pinza
- Plancha térmica
- Bandeja de aluminio
- Espectrómetro

INSTRUCCIONES:

Tomar la muestra preparada según *I.CK-7.1-01 Instructivo para toma y preparación de muestras*.

Colocar sobre una capsula de aluminio la muestra a prensar. Colocarlo en el contenedor prensa hidráulica.

Cerrar y Prensar la muestra con el accionamiento, pulsando el botón principal.

Abrir y accionar la prensa para sacar la muestra prensada (pastilla).

Colocar la(s) muestra(s) en el cargador identificando su posición y cerrar la compuerta en el menor tiempo posible.

En la pantalla touch screen o desde el computador identificar las muestras de acuerdo a su composición.

Tabular la identificación (códigos) de la siguiente forma:

Código	hora
TR para trituración	XXH
MC para molino de crudo	XXH
SC para silo comprobado	1, 2,...
AH para alimentación al horno	XXH

KK para clinker	XXH
FF para cemento de fabricación	XXH
EE para cemento de expendio	XXH
Cualquier etiqueta para el resto de los materiales	XXH

Realizar la lectura desde la pantalla touch screen o desde el computador utilizando los programas preparados para el efecto como los siguientes.

<i>HCRUDA</i>	Alimentación al horno, silos comprobados, Molino de crudo, material de trituración, Calizas.
<i>CLINKER GUAPAN</i>	Para clinker.
<i>CEMENTO1</i>	Cemento de fabricación y expedición
<i>ARCILLA</i>	Para arcilla

Registrar los datos en R.CK-7.1-12 – R.CK-7.4-01 – R.CK-7.1-01 según corresponda.

REFERENCIA:

- R.CK-7.1-01 Instructivo para toma y preparación de muestras.
- Manual del espectrómetro.

ANEXOS:

- No Aplica.

(Fuente: Laboratorio de control de calidad)

ANEXO 3

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ESPECIFICA BLAINE

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINACION DE LA FINURA DEL CEMENTO MEDIANTE PERMEABILIDAD BLAINE ICC-LB-012-GL

Proceso: Aseguramiento y Control de Calidad

EMISIÓN



Proceso Dependiente 1:	Proceso Dependiente 2:	Proceso Dependiente 3:
Nombre: ÁREA CARGO	Nombre: ÁREA CARGO	Nombre: ÁREA CARGO

INDICE

1. OBJETIVO.....	3
2. ALCANCE	3
3. REFERENCIAS	3
4. DEFINICIONES.....	3
5. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES.....	3
6. DESCRIPCIÓN	4

1. OBJETIVO

Determinar la finura del cemento hidráulico, en términos de superficie específica, utilizando el aparato Blaine de permeabilidad al aire.

2. ALCANCE

El documento indica el procedimiento a seguir para determinar la finura del cemento hidráulico en cm^2/g utilizando el aparato Blaine de permeabilidad al aire, así como la calibración del aparato. Este método de ensayo se recomienda aplicar para cemento portland, pero se puede emplear en otros cementos con densidades diferentes al Material Normalizado de Referencia No. 114 mediante una corrección en el cálculo.

3. REFERENCIAS

- **NTE INEN 151** Cemento. Definición de términos relacionados con el cemento hidráulico.
- **ASTM A 582** Norma de especificaciones para barras de acero inoxidable que se pueden maquinar.
- **ASTM C 670** Norma para la preparación de declaraciones de Precisión y desviación para métodos de ensayo para materiales de construcción.
- **ASTM E 832** Norma de especificaciones para filtros de papel para laboratorio.
- **BS 4.359:1.971** Norma Británica para la determinación de la superficie específica de polvos: Parte 2: Métodos de permeabilidad de aire.
- **Material de Referencia Normalizado No. 114** Del National Institute of Standards and Technology
- **NTE INEN 0196:2009** Cemento hidráulico. Determinación de la finura mediante el aparato de permeabilidad al aire
- **ASTM C 204 – 05** Standard Test Methods for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus

4. DEFINICIONES

Cemento portland: Cemento hidráulico producido por pulverización de clinker, consistente esencialmente de silicatos cálcicos hidráulicos cristalinos y que usualmente contiene uno o más de los siguientes elementos: agua, sulfato de calcio, hasta 5% de piedra caliza y adiciones de proceso.

Finura: Es la medida del tamaño de las partículas de cemento.

5. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES

Jefe de Control de Calidad Y Supervisor de Control de Calidad: son responsables de velar por la correcta ejecución del procedimiento aquí definido. Así como de la evaluación de los resultados obtenidos para tomar acciones de ser necesario, acciones correctivas en la línea de proceso.

Personal de Control de Calidad: Son responsables de ejecutar el procedimiento descrito en este documento para posteriormente registrar y comunicar los resultados obtenidos a las áreas de interés a la mayor brevedad posible.

6. DESCRIPCIÓN

6.1 Equipos, Instrumentos, Materiales y Reactivos

- *Aparato Blaine de permeabilidad al aire.* (ver Fig. 1)
- *Discos de Papel filtro.* Debe ser de mediana retención (tipo 1, grado B) (ver norma ASTM E 83).
- *Embolo.*
- *Disco.*
- *Cronómetro.* Debe tener una precisión de 0,5 segundos o menos para intervalos de tiempo de hasta 60 segundos, y de 1 % o menos para intervalos de tiempo de 60 a 300 segundos.
- *Termómetro.*
- *Balanza analítica.* De por lo menos 0.001 g de sensibilidad.
- *Líquido del manómetro.* El manómetro se debe llenar hasta la línea media con un líquido no volátil, no higroscópico, de baja viscosidad y densidad, tal como el dibutyl fthalate.
- *Mercurio.* De grado reactivo ACS o mejor.
- *Material Normalizado de Referencia No. 114.*
- *Muestra de cemento.* Tomar la muestra según la NTE INEN 153.

6.2 Procedimiento para calibración del aparato

6.2.1 Determinación de volumen aparente de la camada compactada de polvo. (Método de desplazamiento de mercurio) (Nota 1)

- Se coloca dos discos de papel filtro en la celda de permeabilidad, presionando hacia abajo los bordes, utilizando un pisón que tenga un diámetro ligeramente más pequeño que el de la celda, hasta que los discos filtro reposen planos sobre el disco de metal perforado.
- Se llena la celda con mercurio, quitando cualquier burbuja de aire adherida a la pared de la celda. (ver nota 2)
- Se nivela el mercurio con el borde superior de la celda presionando ligeramente una pequeña placa de vidrio contra la superficie del mercurio hasta que el vidrio esté en el mismo plano de la superficie del mercurio y del borde de la celda, asegurándose que no haya burbujas ni vacíos entre la superficie del mercurio y la placa de vidrio.
- Se retira el mercurio de la celda, se pesa y registra su masa.
- Se retira de la celda uno de los discos de papel filtro.
- Utilizando una cantidad tentativa de cemento de 2.80 g se comprime el cemento con un disco de papel filtro sobre la muestra y otro bajo la misma. (ver nota 3)
- Dentro del espacio no llenado en la parte superior de la celda, se añade mercurio, se quita el aire atrapado y se nivela como se indicó anteriormente.
- Se retira el mercurio de la celda, se pesa y se registra la masa del mercurio.
- Se calcula el volumen aparente ocupado por el cemento con una aproximación de 0.005 cm³ utilizando la ecuación (1) (ver nota 4)

Nota 1. No es necesario emplear un cemento normalizado.

Nota 2. Utilizar pinzas para manejar la celda. Si la celda está hecha de material que se puede amalgamar con el mercurio, se debe proteger el interior de la misma con una película muy fina de aceite poco antes de añadir el mercurio.

NOTA 3. La camada de cemento preparada debe ser firme. Si está muy suelta o si el cemento no puede ser comprimido hasta el volumen deseado, ajuste la cantidad tentativa de cemento utilizada.

Nota 4. Realizar por lo menos dos determinaciones del volumen aparente del cemento, utilizando compactaciones separadas para cada determinación. El valor de volumen aparente utilizado para cálculos posteriores debe ser el promedio de dos valores que coincidan dentro de ± 00005 cm³. Registrar la temperatura en la vecindad de la celda al comienzo y al final de la determinación.

Ecuación (1):

$$V = \frac{(W_A - W_B)}{D}$$

Donde:

V = Volumen aparente del cemento, cm³.

W_A = Gramos de mercurio requeridos para llenar la celda sin cemento.

W_B = Gramos de mercurio requerido para llenar la porción de la celda no ocupada por el lecho de cemento en la celda.

D = Densidad del mercurio a la temperatura de ensayo, g/cm³. (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Densidad del mercurio, viscosidad del aire (η), y √η a temperaturas dadas



Temperatura Ambiente, °C	Densidad del Mercurio, Mg/cm ³	Viscosidad del aire, η μPa.s	√η
18	13.55	17.98	4.24
20	13.55	18.08	4.25
22	13.54	18.18	4.26
24	13.54	18.28	4.28
26	13.53	18.37	4.29
28	13.53	18.47	4.30
30	13.52	18.57	4.31
32	13.52	18.67	4.32
34	13.51	18.76	4.33

6.2.2 Preparación de la muestra.

- Se vacía el contenido de una ampollita de muestra de cemento normalizado en un frasco de aproximadamente 120 cm³.
- Se sacude vigorosamente por 2 minutos para esponjar el cemento y romper terrones o aglomeraciones.
- Se deja descansar el frasco tapado por 2 minutos adicionales.
- Se quita la tapa y se revuelve suavemente para distribuir en toda la muestra la fracción fina que se haya depositado sobre la superficie después del agitado.
- Se calcula la masa de la muestra normalizada requerida para producir una camada de cemento que tenga una porosidad de 0.500 ± 0.005, por medio de la ecuación (2)

Ecuación (2):

$$W = \rho V(1 - \varepsilon)$$

Donde:

W = Gramos de muestra requerida.

ρ = Densidad de la muestra de ensayo (para cemento portland se debe utilizar un valor de 3.15 g/cm³).

V = Volumen aparente de la camada de cemento, cm³ que se determinó anteriormente.

ε = Porosidad deseada de la camada de cemento (0.500 ± 0.005).

6.2.3 Preparación de la camada de cemento.

- Se asienta el disco perforado sobre la base en la celda de permeabilidad, con la cara inscrita o marcada hacia abajo.
- Se coloca un disco de papel filtro sobre el disco de metal y se presiona los bordes hacia abajo con el pisón que tiene un diámetro ligeramente menor que aquel de la celda.
- Se pesa con una aproximación de 0.001 g, la cantidad de cemento determinada anteriormente y se coloca en la celda.
- Se golpea ligeramente el lado de la celda con objeto de nivelar la camada de cemento.
- Se coloca un disco de papel filtro encima del cemento y se comprime el cemento con el émbolo hasta que el collarín del émbolo esté en contacto con el borde superior de la celda.
- Se extrae lentamente el émbolo una pequeña distancia; se gira alrededor de 90°, se vuelve a presionar y retirar lentamente. (nota 5)

Nota 5. Para cada determinación se deben usar discos de papel filtros nuevos.

6.2.4 Ensayo de permeabilidad

- Se acopla la celda de permeabilidad al tubo del manómetro asegurándose que se haya obtenido una conexión hermética teniendo cuidado de no sacudir o alterar la camada preparada de cemento. (ver nota 6)
- Se evacua lentamente el aire en el brazo del manómetro de tubo U hasta que el líquido alcance la marca superior, en ese momento cerrar la válvula firmemente.
- Se arranca el cronómetro cuando la base del menisco del líquido del manómetro alcance la segunda marca (cercana a la parte superior) y se detiene cuando la base del menisco del líquido alcance la tercera marca (cercana al fondo).
- Se registra el intervalo de tiempo medido en segundos y la temperatura del ensayo en grados centígrados. (ver nota 7)

Nota 6. Se debe aplicar un poco de grasa ligera a la conexión cónica estándar. La eficiencia de la conexión del acoplamiento de la celda al manómetro puede ser determinada, tapando la parte superior, evacuando parcialmente el aire del brazo del manómetro y luego cerrando la válvula. Cualquier caída continua en la presión indica una fuga en el sistema.

Nota 7. Para la calibración del instrumento, hacer por lo menos tres determinaciones del tiempo de flujo sobre cada una de las tres camadas preparadas separadamente con la muestra normalizada. La calibración debe ser realizada por el mismo operador que realiza la determinación de la finura.

6.3 Re calibración

El aparato debe ser recalibrado a intervalos periódicos de tiempo que no deben exceder de 2 años 6 meses, realizándose correcciones por posible desgaste del émbolo o celda de permeabilidad, o cada que se tenga evidencia de que el ensayo no proporciona datos de acuerdo con la declaración de precisión y desviación del numeral 7.6

El proceso de recalibración se puede iniciar desde el paso 15 cuando ha ocurrido cualquier pérdida en el fluido del manómetro o si se ha hecho un cambio en el tipo o calidad del papel filtro utilizado para los ensayos

6.4 Procedimiento

Tamaño de la muestra de ensayo. La masa de la muestra utilizada para el ensayo debe ser la misma que aquella de la muestra normalizada empleada en el ensayo de calibración, con estas excepciones:

- Cuando se determine la finura del cemento Tipo III u otros tipos de cementos portland finamente molidos, cuyo volumen para esta masa es tan grande que la presión ordinaria del dedo pulgar no permita que el

collar del émbolo se ponga en contacto con el borde superior de la celda, en este caso, la masa de la muestra debe ser aquella requerida para producir una camada de ensayo que tenga una porosidad de 0.530 ± 0.005 .

- Cuando se determine la finura de materiales diferentes que el cemento portland, o si para una muestra de cemento portland, una de las porosidades requeridas no se puede obtener, la masa de la muestra debe ser ajustada de manera que se produzca una camada dura y firme por el proceso de compactación. Sin embargo, en ningún caso, se debe utilizar más presión que la del dedo pulgar para asegurar la camada apropiada, ni la presión del dedo pulgar sea usada de tal manera que el émbolo "rebote" del borde superior de la celda, cuando la presión sea retirada.

Preparación de la camada de cemento. Preparar la camada del cemento siguiendo los mismos pasos del proceso de calibración.

Ensayos de permeabilidad. Realizar los ensayos de permeabilidad siguiendo los mismos pasos del proceso de calibración.

6.5 Cálculos

Calcular los valores de superficie específica de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Ecuación (3)} \quad S = \frac{S_s \sqrt{T}}{\sqrt{T_s}}$$

$$\text{Ecuación (4)} \quad S = \frac{S_s \sqrt{\eta_s} \sqrt{T}}{\sqrt{T_s} \sqrt{\eta}}$$

$$\text{Ecuación (5)} \quad S = \frac{S_s (b - \varepsilon_s) \sqrt{\varepsilon^3} \sqrt{T}}{\sqrt{\varepsilon_s^3} \sqrt{T_s} (b - \varepsilon)}$$

$$\text{Ecuación (6)} \quad S = \frac{S_s (b - \varepsilon_s) \sqrt{\varepsilon^3} \sqrt{\eta} \sqrt{T}}{\sqrt{\varepsilon_s^3} \sqrt{T_s} \sqrt{\eta} (b - \varepsilon)}$$

$$\text{Ecuación (7)} \quad S = \frac{S_s \rho_s (b_s - \varepsilon_s) \sqrt{\varepsilon^3} \sqrt{T}}{\rho \sqrt{\varepsilon_s^3} \sqrt{T_s} (b - \varepsilon)}$$

$$\text{Ecuación (8)} \quad S = \frac{S_s \rho_s (b_s - \varepsilon_s) \sqrt{\varepsilon^3} \sqrt{\eta_s} \sqrt{T}}{\rho \sqrt{\varepsilon_s^3} \sqrt{T_s} \sqrt{\eta} (b - \varepsilon)}$$

Donde:

S = Superficie específica de la muestra de ensayo, m²/kg.

S_s = Superficie específica de la muestra normalizada usada en la calibración del aparato, m²/kg.

T = Intervalo de tiempo medido, s, de la caída del manómetro para la muestra de ensayo. (Ver tabla 3)

T_s = Intervalo de tiempo medido, s, de la caída del manómetro para la muestra normalizada, utilizada en la calibración del aparato. (ver tabla 3)

η = Viscosidad del aire, $\mu P a \cdot s$, a la temperatura de ensayo de la muestra. (Ver tabla 1)

η_s = Viscosidad del aire, $\mu P a \cdot s$, a la temperatura de ensayo de la muestra normalizada, usada en la calibración del aparato. (ver tabla 1)

ϵ = Porosidad de la camada preparada de la muestra de ensayo. (Ver tabla 2)

ϵ_s = Porosidad de la camada preparada de muestra normalizada, usada en la calibración del aparato. (Ver tabla 2)

ρ = Densidad de la muestra de ensayo (para cemento portland se debe utilizar un valor de 3.15 g/cm³).

ρ_s = Densidad de la muestra normalizada, usada en la calibración del aparato (asumida que es 3.15 g/cm³).

b = Constante específicamente apropiada para la muestra de ensayo (para cemento hidráulico se puede utilizar un valor de 0.9).

b_s = 0.9, la constante apropiada para la muestra normalizada.

Tabla 2. Valores de porosidad de la camada de cemento

Porosidad de la camada, ϵ	$\sqrt{\epsilon^3}$
0,496	0,349
0,497	0,350
0,498	0,351
0,499	0,352
0,500	0,354
0,501	0,355
0,502	0,356
0,503	0,357
0,504	0,358
0,505	0,359
0,506	0,360
0,507	0,361
0,508	0,362
0,509	0,363
0,510	0,364
0,525	0,380
0,526	0,381
0,527	0,383
0,528	0,384
0,529	0,385
0,530	0,386
0,531	0,387
0,532	0,388
0,533	0,389
0,534	0,390
0,535	0,391

Tabla 3. Tiempo de flujo de aire

T = Tiempo de flujo de aire en segundos; \sqrt{T} = El factor para uso en las ecuaciones

T	\sqrt{T}	T	\sqrt{T}	T	\sqrt{T}	T	\sqrt{T}	T	\sqrt{T}	T	\sqrt{T}
26	5,10	51	7,14	76	8,72	101	10,05	151	12,29	201	14,18
26½	5,15	51 ½	7,18	76 ½	8,75	102	10,10	152	12,33	202	14,21
27	5,20	52	7,21	77	8,77	103	10,15	153	12,37	203	14,25

27 ½	5,24	52 ½	7,25	77 ½	8,80	104	10,20	154	12,41	204	14,28
28	5,29	53	7,28	78	8,83	105	10,25	155	12,45	205	14,32
28 ½	5,34	53 ½	7,31	78 ½	8,86	106	10,30	156	12,49	206	14,35
29	5,39	54	7,35	79	8,89	107	10,34	157	12,53	207	14,39
29 ½	5,43	54 ½	7,38	79 ½	8,92	108	10,39	158	12,57	208	14,42
30	5,48	55	7,42	80	8,94	109	10,44	159	12,61	209	14,46
30 ½	5,52	55 ½	7,45	80 ½	8,97	110	10,49	160	12,65	210	14,49
31	5,57	56	7,48	81	9,00	111	10,54	161	12,69	211	14,53
31 ½	5,61	56 ½	7,52	81 ½	9,03	112	10,58	162	12,73	212	14,56
32	5,66	57	7,55	82	9,06	113	10,63	163	12,77	213	14,59
32 ½	5,70	57 ½	7,58	82 ½	9,08	114	10,68	164	12,81	214	14,63
33	5,74	58	7,62	83	9,11	115	10,72	165	12,85	215	14,66
33 ½	5,79	58 ½	7,65	83 ½	9,14	116	10,77	166	12,88	216	14,70
34	5,83	59	7,68	84	9,17	117	10,82	167	12,92	217	14,73
34 ½	5,87	59 ½	7,71	84 ½	9,19	118	10,86	168	12,96	218	14,76
35	5,92	60	7,75	85	9,22	119	10,91	169	13,00	219	14,80
35 ½	5,96	60 ½	7,78	85 ½	9,25	120	10,95	170	13,04	220	14,83
36	6,00	61	7,81	86	9,27	121	11,00	171	13,08	222	14,90
36 ½	6,04	61 ½	7,84	86 ½	9,30	122	11,05	172	13,11	224	14,97
37	6,08	62	7,87	87	9,33	123	11,09	173	13,15	226	15,03
37 ½	6,12	62 ½	7,91	87 ½	9,35	124	11,14	174	13,19	228	15,10
38	6,16	63	7,94	88	9,38	125	11,18	175	13,23	230	15,17
38 ½	6,20	63 ½	7,97	88 ½	9,41	126	11,22	176	13,27	232	15,23
39	6,24	64	8,00	89	9,43	127	11,27	177	13,30	234	15,30
39 ½	6,28	64 ½	8,03	89 ½	9,46	128	11,31	178	13,34	236	15,36
40	6,32	65	8,06	90	9,49	129	11,36	179	13,38	238	15,43
40 ½	6,36	65 ½	8,09	90 ½	9,51	130	11,40	180	13,42	240	15,49
41	6,40	66	8,12	91	9,54	131	11,45	181	13,45	242	15,56
41 ½	6,44	66 ½	8,15	91 ½	9,57	132	11,49	182	13,49	244	15,62
42	6,48	67	8,19	92	9,59	133	11,53	183	13,53	246	15,68
42 ½	6,52	67 ½	8,22	92 ½	9,62	134	11,58	184	13,56	248	15,75
43	6,56	68	8,25	93	9,64	135	11,62	185	13,60	250	15,81
43 ½	6,60	68 ½	8,28	93 ½	9,67	136	11,66	186	13,64	252	15,87
44	6,63	69	8,31	94	9,70	137	11,70	187	13,67	254	15,94
44 ½	6,67	69 ½	8,34	94 ½	9,72	138	11,75	188	13,71	256	16,00
45	6,71	70	8,37	95	9,75	139	11,79	189	13,75	258	16,06
45 ½	6,75	70 ½	8,40	95 ½	9,77	140	11,83	190	13,78	260	16,12
46	6,78	71	8,43	96	9,80	141	11,87	191	13,82	262	16,19
46 ½	6,82	71 ½	8,46	96 ½	9,82	142	11,92	192	13,86	264	16,25
47	6,86	72	8,49	97	9,85	143	11,96	193	13,89	266	16,31
47 ½	6,89	72 ½	8,51	97 ½	9,87	144	12,00	194	13,93	268	16,37
48	6,93	73	8,54	98	9,90	145	12,04	195	13,96	270	16,43
48 ½	6,96	73 ½	8,57	98 ½	9,92	146	12,08	196	14,00	272	16,49
49	7,00	74	8,60	99	9,95	147	12,12	197	14,04	274	16,55
49 ½	7,04	74 ½	8,63	99 ½	9,97	148	12,17	198	14,07	276	16,61
50	7,07	75	8,66	100	10,00	149	12,21	199	14,11	278	16,67
50 ½	7,11	75 ½	8,69	100 ½	10,02	150	12,25	200	14,14	280	16,73

Ecuaciones 3 y 4. Se utilizan en cálculos de finura de cementos portland compactados hasta la misma porosidad que la muestra de finura normalizada utilizada en el ensayo de calibración. La ecuación 3 si la temperatura de la muestra en el ensayo está dentro de ± 3 °C de la temperatura del ensayo de calibración y la ecuación 4 si la temperatura de la muestra en el ensayo está fuera de este rango.

Ecuaciones 5 y 6. Se utilizan en el cálculo de la finura de cementos portland compactados hasta una porosidad diferente que aquella de la muestra de finura normalizada utilizada en el ensayo de calibración. La ecuación 5 si la temperatura de la muestra en el ensayo está dentro de ± 3 °C de la temperatura del ensayo de calibración con la muestra de finura normalizada y la ecuación 6 si la temperatura de la muestra en el ensayo está fuera de este rango.

Ecuaciones 7 y 8. Se utilizan en el cálculo de la finura de materiales diferentes del cemento portland. La ecuación 7 cuando la temperatura de la muestra en el ensayo este dentro de ± 3 °C de la temperatura del ensayo de calibración y la ecuación 8 si la temperatura de la muestra en el ensayo está fuera de este rango.

Se recomienda que el valor de b sea determinado con por lo menos de tres muestras del material en análisis. Ensayar cada muestra en mínimo 4 porosidades diferentes sobre un rango de porosidad de por lo menos 0,06. El coeficiente de correlación debe exceder de 0,9970 para la correlación de $\sqrt{\epsilon^3 T}$ versus ϵ en cada muestra ensayada. (Ver Anexo A).

Redondear los valores en cm²/g a las 10 unidades más cercanas (en m²/kg a la unidad más cercana).
Ejemplo: 3 447 cm²/g se redondea a 3 450 cm²/g o 345 m²/kg.

6.6 Precisión

Precisión para un solo operador. El coeficiente de variación para un solo operador para cementos portland se ha encontrado que es 1,2 %. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos realizados adecuadamente por el mismo operador, en la misma muestra, no deben diferir en más que 3,4 % de su promedio.

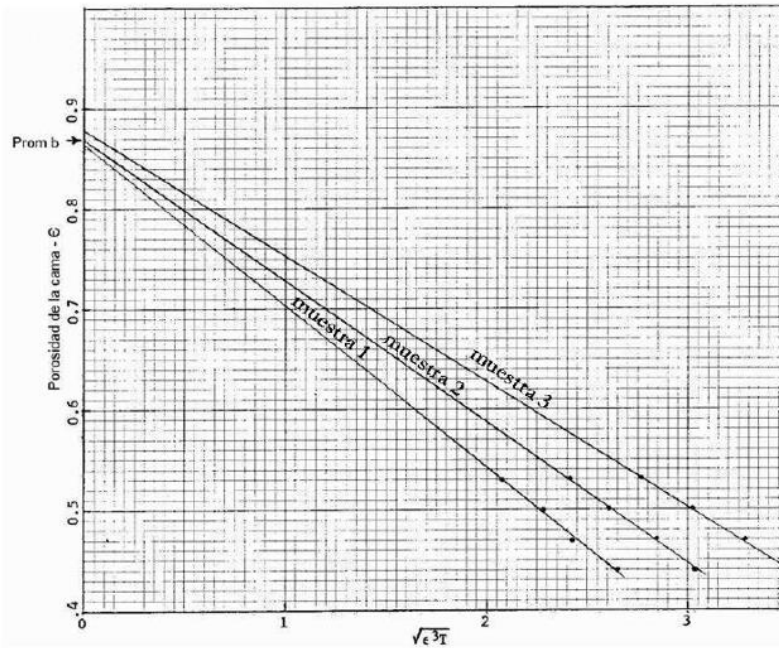
Precisión multilaboratorio. El coeficiente de variación multilaboratorio para cementos portland se ha encontrado que es 2,1 %. Por lo tanto, los resultados de dos laboratorios diferentes sobre muestras idénticas de un material no deben diferir entre ellos en más de 6,0 % de su promedio.

INFORMACIÓN DOCUMENTADA	
Identificación	Nombre del Documento
RCC-LB- 003- PCG	Registro de Calidad de Materias Primas

ANEXO A

1.1 Método ilustrativo para la determinación del valor para la constante b

Figura 1. Método ilustrativo para la determinación del valor para la constante b (para uso en cálculos de finura de materiales diferentes que el cemento portland)



Material: harina de sílice

ρ = densidad de la muestra de ensayo = 2,65 Mg/m³

V = volumen aparente de la camada de la muestra = 1,887 cm³

ϵ = porosidad deseada del ensayo

W = gramos de muestra requerida = $\rho V(1 - \epsilon)$

T = intervalo de tiempo del ensayo medido, segundos

Valores calculados de b por regresión lineal:

Muestra 1 b = 0,863 (coeficiente de correlación = 0,9980)

Muestra 2 b = 0,869 (coeficiente de correlación = 0,9993)

Muestra 3 b = 0,879 (coeficiente de correlación = 0,9973)

Promedio b = 0,870

ϵ	W	T	$\sqrt{\epsilon^3 T}$
Muestra 1			
0,530	2,350	29,0	2,078
0,500	2,500	42,0	2,291
0,470	2,650	57,5	2,443
0,440	2,800	82,5	2,651
Muestra 2			
0,530	2,350	39,0	2,410
0,500	2,500	55,5	2,634
0,470	2,650	79,0	2,864
0,470	2,650	79,0	3,040
Muestra 3			
0,530	2,350	51,5	2,769
0,500	2,500	73,0	3,021
0,470	2,650	104,0	3,286
0,440	2,800	141,5	3,472

1.2 Aparato de Blaine

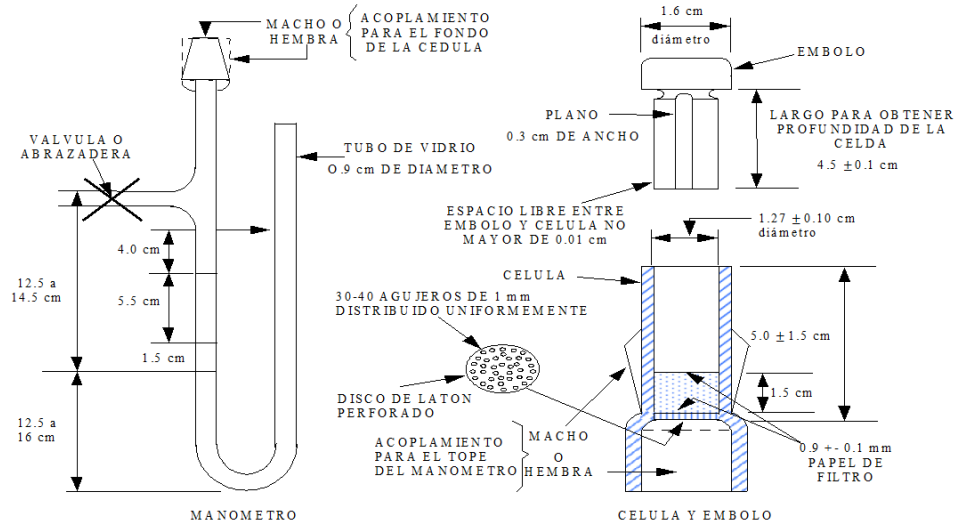


Figura 1. Aparato de Blaine (elementos)

(Fuente: Laboratorio de control de calidad)

ANEXO 4

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINACIÓN DEL RETENIDO EN MALLA 325

INSTRUCTIVO PARA DETERMINACIÓN DE LA FINEZA ICC-LB-004-GL

Proceso: Aseguramiento y Control de Calidad

EMISIÓN



DEPENDENCIA

Proceso Dependiente 1:	Proceso Dependiente 2:	Proceso Dependiente 3:
Nombre: ÁREA CARGO	Nombre: ÁREA CARGO	Nombre: ÁREA CARGO

INDICE

1. OBJETIVO	2
2. ALCANCE	2
3. REFERENCIAS	2
4. DEFINICIONES	2
5. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES	2
6. DESCRIPCIÓN	2

1. OBJETIVO

Determinar la cantidad de material que queda retenido en un tamiz.

2. ALCANCE

Este instructivo se aplica al material crudo del: molino, silos, alimentación al horno, y los cementos de fabricación y expendio en [REDACTED].

3. REFERENCIAS

- **NTE INEN 154** Tamices de ensayo. Dimensiones nominales de las aberturas.
- **ASTM E 161** Especificación para Precisión de Tamices Electroformados.
- **ASTM E 177** Práctica para Uso de Términos de Precisión y Desviación en Métodos de Ensayo de ASTM.
- **NTE INEN 957:2012** Cemento hidráulico. Determinación de la finura mediante el tamiz de 45 μm (no. 325)
- **ASTM C 430 – 03** Standard Test Methods for Fineness of Hydraulic Cement by the 45- μm (No. 325) Sieve.

4. DEFINICIONES

Cemento hidráulico: Es un conglomerante formado a partir de una mezcla de calizas y arcillas calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse después de ponerse en contacto con el agua.

Crudo: Material calcáreo que ha pasado por el proceso de trituración y molienda, y se ha seleccionado para continuar con el proceso

Finura: Es la medida del tamaño de las partículas de cemento.

Tamiz: Clasificador de materiales por medio de una malla de abertura determinada y especificada

Retenido: Porcentaje de material cuyo tamaño es mayor a la abertura de determinado tamiz

5. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES

Jefe de Control de Calidad Y Supervisor de Control de Calidad: son responsables de velar por la correcta ejecución del procedimiento aquí definido. Así como de la evaluación de los resultados obtenidos para tomar acciones de ser necesario, acciones correctivas en la línea de proceso.

Personal de Control de Calidad: Son responsables de ejecutar el procedimiento descrito en este documento para posteriormente registrar y comunicar los resultados obtenidos a las áreas de interés a la mayor brevedad posible.

6. DESCRIPCIÓN

6.1 Equipo, Instrumentos y Materiales

- Tamices
- Tela para tamiz: Alambre tejido o lamina electroformada. (ver NTE 957)
- Boquilla rociadora: Debe asegurar un caudal de flujo entre 500 y 3000 g/min. (ver NTE INEN 957)
- Manómetro: Diámetro mínimo de 76 mm, y estará graduada en incrementos de 7 kPa (1 psi) y debe tener una capacidad máxima de 207 kPa (30psi).
- Balanza.
- Copelas.
- Plancha térmica.

6.2 Calibración del tamiz de 45 µm Cemento (No. 325 NTE INEN 957).

Colocar 1 g de la muestra normalizada No. 114 o No.46h del lote actualizado del National Institute of Standards and Technology sobre el tamiz de 45µm, limpio y seco, y proceder como se indica en 7.3. El factor de corrección del tamiz es la diferencia entre el residuo obtenido en el ensayo y el valor de residuo asignado de la muestra patrón, indicado por la finura de la lámina de tamiz electroformada, especificada para la muestra normalizada, y expresado como un porcentaje del residuo del ensayo.

Se debe observar que la corrección del tamiz, como se ha especificado, es un factor que multiplica el residuo obtenido y que la cantidad a ser añadida o sustraída del residuo en cualquier ensayo dado es, por lo tanto, proporcional a la cantidad del residuo.

Ejemplo de determinación del factor de corrección del tamiz

Residuo de la muestra No. 114 o 46h en el tamiz de 45µm	12,2 %
Residuo para 1 g de muestra	0,122 g
Residuo en el tamiz que es calibrado	<u>0,093 g</u>
Diferencia =	+ 0,029 g
Factor de corrección = $(+0,029/0,093) \times 100 = + 31,18 =$	+ 31,2 %

6.3 Determinación de la fineza en el cemento

Pesar 1.0000+/-0.0001 g de cemento en una copela.

Colocar en el tamiz y tamizar (tamiz #325 ASTM) imprimiendo un suave movimiento de rotación hasta que pase todo el material que posible utilizando agua a presión a 0.07 ± 0.0035 MPa (0.7138 ± 0.03569 kg/cm² o 10.1526 ± 0.5076 psi) y 60 seg. antes de esto se humedece la muestra con una corriente suave de agua penetrando 12.5 mm aproximadamente en el marco del tamiz.

Secar con una tela limpia y seca sus paredes externas y el fondo del tamiz.

Secar el retenido en una plancha térmica por 10 min y pesarlo.

6.4 Cálculos. Calcule la finura del cemento al 0,1 % más cercano.

$$R_c = R_s \times (100 + C)$$

$$F = 100 - R_c$$

Donde:

F = Finura del cemento expresada como el porcentaje corregido que pasa por el tamiz de 45 µm (No. 325).

R_c = Residuo corregido, %.

R_s = Residuo de la muestra retenida sobre el tamiz de 45 µm (No. 325), g.

C = Factor de corrección del tamiz el cual puede ser positivo o negativo.

6.5 Determinación de la fineza en el crudo, silos y alimentación al horno.

Pesar 1.0000 +/- 0-0001 g de crudo en una copela de aluminio.

Colocar en el tamiz y tamizar (tamiz # 200 ASTM) imprimiendo un suave movimiento de rotación hasta que pase todo el material que sea posible utilizando agua a presión a 0.07 ± 0.0035 MPa (0.7138 ± 0.03569 kg/cm² o 10.1526 ± 0.5076 psi) por 60 seg. antes de esto se humedece la muestra con una corriente suave de agua penetrando 12.5 mm aproximadamente en el marco del tamiz.

Secar con una tela limpia y seca sus paredes externas y el fondo del tamiz.

Secar el retenido en una plancha térmica por 10 min y pesarlo.

6.5.1 Cálculos

La fórmula a emplearse para la determinación es:

$$\text{Fineza} = \text{Peso retenido} \times 100$$

6.6 Limpieza de los tamices de 45 µm (No. 325)

Frecuencia de la limpieza y calibración.

- Los tamices de tela de alambre tejido deben ser limpiados después de máximo cinco determinaciones.
- Los tamices de lámina reforzada electroformada (71 aberturas / cm), deben ser limpiados después de máximo tres determinaciones.
- Ambos tipos de tamices serán recalibrados después de máximo cien determinaciones.

Procedimientos aceptables de limpieza.

Tamiz de tela de alambre tejido.

Se coloca el tamiz en un baño ultrasónico de bajo poder (máximo 150 W) conteniendo una solución limpiadora apropiada para laboratorio (ver nota 2). El baño debe ser operado por tiempo suficiente (aproximadamente 10 a 15 minutos a temperatura ambiente) para remover las partículas alojadas en las aberturas.

Tamiz de láminas electroformadas que contienen más de 71 aberturas por centímetro lineal:

1. Se sumerge el tamiz en un baño de solución limpiadora apropiada para laboratorio, calentándola hasta justo debajo del punto de ebullición. (ver nota 2)
2. Se cubre con una lámina de vidrio para reducir la evaporación.
3. Se continúa con el remojo durante un tiempo suficiente para aflojar las partículas retenidas, con un enjuague a continuación del baño. (ver nota 3)

Nota 2. La limpieza o enjuague con soluciones de ácido hidroclorídrico o ácido acético, diluidas, debe evitarse. Las soluciones de limpieza apropiadas están restringidas a las soluciones tipo detergente o jabón.

Nota 3. También es aceptable un remojo durante la noche en soluciones limpiadoras similares, pero no calentadas, a condición de que el enjuague a continuación del baño, sea capaz de lavar las partículas retenidas.



INFORMACIÓN DOCUMENTADA	
Identificación	Nombre del Documento
RCC-LB- 003- PCG	Registro de Calidad de Materias Primas
RCC-LB- 004- PCG	Registros de Ensayos Físicos Cemento Molienda
RCC-LB- 005- PCG	Registro de Ensayos Físicos Cemento Despacho

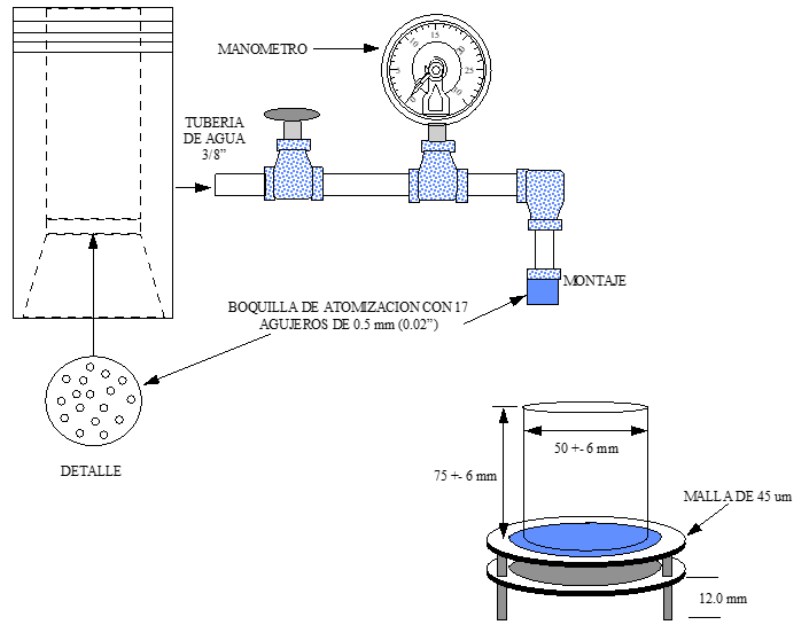


CONSIDERACIONES AMBIENTALES Y DE SEGURIDAD		
Aspecto Ambiental / Peligro	Impacto Ambiental / Riesgos	Control Operacional
Exposición Química	Quemaduras, Intoxicación	Verificar que toda sustancia química que se encuentre en el área de <u>trabajo</u> , esté debidamente identificada y, cuente con su respectiva Hoja MSDS.
Exposición a material particulado	Riesgo químico	Se recomienda el uso de equipo de protección personal
Utilizar correctamente los Elementos de Protección Personal (EPPs) dispuestos por el área de Seguridad.		

CONTROL DE CAMBIOS			
DOCUMENTO ANTERIOR		DOCUMENTO ACTUAL	
Versión: 00	Fecha:30-04-2019	Versión: 01	Fecha:30/05/2020
Resumen: Versión 0: Creación del documento		Resumen: Versión 1: Actualización de formato	
Versión	Fecha:	Versión:	Fecha
Resumen:		Resumen:	

ANEXO 1

Esquema de determinación de finura por tamiz



ANEXO 5

PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

PROPOSITO:

Establecer el instructivo para la realización de análisis de muestras por Difracción de Rayos X.

ALCANCE:

Se aplica esta instrucción al análisis mineralógico de muestras de arcillas, caliza, crudo, clínker, yeso, puzolana, cemento.

DEFINICIONES:

- **Arcilla:** Suelo o roca sedimentaria, plástica y tenaz cuando se humedece. Se endurece permanentemente cuando se cuece o calcina.
- **Caliza:** Tipo común de roca sedimentaria, compuesta por calcita (carbonato de calcio, CaCO_3). Cuando se calcina (se lleva a alta temperatura) da lugar a cal (óxido de calcio, CaO). La caliza cristalina metamórfica se conoce como mármol.
- **Yeso:** Mineral común consistente en sulfato de calcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
- **Crudo:** Material calcáreo que ha pasado por el proceso de trituración y molienda, y se ha seleccionado para continuar con el proceso.
- **Clínker Portland:** Es el producto de la cocción a altas temperaturas de una mezcla íntima de materiales arcillosos y calcáreos finamente molidos antes de su cocción y en proporciones determinadas.
- **Cemento Portland:** Producto de moler a una fineza determinada el clínker portland con un porcentaje adecuado en masa de yeso. Puede molerse con otros materiales (puzolana, escoria etc.) dando lugar a los diferentes tipos de cemento.
- **Fluorescencia de rayos x (XRF):** Técnica utilizada para el análisis químico de un material determinado; se basa en la emisión de rayos x secundarios o fluorescentes característicos de un material que ha sido excitado al ser bombardeado con rayos X de alta energía o rayos gama.
- **Difracción de rayos x:** Técnica utilizada para la determinación del contenido mineralógico de una determinada muestra; es un fenómeno físico que se produce al interaccionar un haz de rayos x de una determinada longitud de onda, con una sustancia cristalina. La difracción de rayos x, se basa en la dispersión coherente del haz de rayos x por parte de la materia y en la interferencia constructiva de las ondas que están en fase y que se dispersan en determinadas direcciones del espacio.
- **TOPAS.** - Software de cuantificación de fases minerales analizadas por difracción de rayos x

RESPONSABILIDADES:

La aplicación de este instructivo es responsabilidad del Personal del departamento de calidad.

EQUIPO:

- Chapas de aluminio
- Vibromolino
- Prensa Hidráulica
- Pinza
- Plancha térmica
- Porta muestras
- Difractómetro de rayos x

INSTRUCCIONES:

Tomar la muestra preparada según *I.CK-7.1-01 Instructivo para toma y preparación de muestras.*

Secar la muestra en la plancha térmica.

Determinar la humedad si es el caso.

Moler la muestra en el vibromolino.

Colocar en el porta muestras, acomodar el material con una lámina de vidrio y acondicionarla en la prensa neumática.

Colocar la muestra en el cargador y cerrar la compuerta en el menor tiempo posible.

Escoger el programa determinado para lectura del difractograma, especificando si se trata de muestras de clinker, puzolana, yeso u otra que se desee conocer su composición mineralógica.

Cuantificar el resultado a través del programa TOPAS

Registrar los datos en el registro R.CK-7.1-13

REFERENCIA:

- CK-7.1-01 Instructivo para toma y preparación de muestras.
- Manual del difractor.

ANEXOS:

- No Aplica

(Fuente: Laboratorio de control de calidad)

ANEXO 6

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS AL FUEGO

OBJETIVO

Determinar el porcentaje de materiales volátiles presente en el cemento y sus materias primas mediante un proceso de calcinación.

ALCANCE

Este documento establece el procedimiento a aplicar para determinar las pérdidas por calcinación en el cemento y sus materias primas.

RESPONSABILIDADES

El Superintendente de Control de Calidad y Proceso y/o el Jefe de Control de Calidad, son responsables de velar por la correcta ejecución del procedimiento aquí definido. Así como de la evaluación de los resultados obtenidos para tomar, de ser necesario, acciones correctivas en la línea de proceso.

Analista Químico y/o Analista de Proceso. Son responsables de ejecutar el procedimiento definido en este documento, posteriormente registrar y comunicar los resultados obtenidos a las áreas de interés a la mayor brevedad posible.

DEFINICIONES

Cemento portland. Cemento hidráulico que consiste en una mezcla de clinker molido, puzolana y yeso.

Cemento de escoria. Cemento hidráulico que consiste fundamentalmente de escoria granulada de altos hornos, molida.

Cemento de escoria de alto horno. Cemento hidráulico, consistente de una mezcla íntimamente molida de clinker de cemento portland y escoria de altos hornos granulada o un mezcla íntima y uniforme de cemento portland y escoria de altos hornos granulada fina, en la cual la cantidad del componente escoria, está dentro de límites especificados.

DOCUMENTOS A CONSULTAR

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
NTE INEN 151	Cemento hidráulico. Definición de términos.
NTE INEN 160	Cemento hidráulico. Métodos de ensayo para el análisis químico

REGISTROS A CONSERVAR

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CONSERVADO POR

DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Equipos, Instrumentos y Materiales

- *Mufla.*
- *Crisol.* Debe estar tarado previamente.
- *Balanza analítica.*
- *Pinza.*
- *Guantes.* Resistentes a elevadas temperaturas.

Procedimiento.

1. Se pesa 1 g de muestra en un crisol previamente tarado.
2. Se tapa y calcina el crisol con su contenido hasta masa constante en un horno mufla a una temperatura de 950 ± 50 °C. (ver nota 1)

Nota 1. Un período de calentamiento inicial de mínimo de 15 minutos y al menos 5 minutos para todos los siguientes períodos.

Cálculos.

Calcular el porcentaje de pérdida por calcinación con una aproximación de 0,1, multiplicando la pérdida de masa en gramos por 100.

CONSIDERACIONES AMBIENTALES Y DE SEGURIDAD

AMBIENTALES	
Generación de residuos sólidos a base de cemento.	<ul style="list-style-type: none">• Colocar los residuos generados en los compartimentos designados para su desecho. De ser posible se pueden reinsertar estos al proceso, elaboración del cemento u hormigón.
SEGURIDAD	
Exposición a ruidos fuertes, caída de objetos y partículas finas.	<ul style="list-style-type: none">• Utilizar el equipo de protección personal (EPP) completo, especialmente durante la recolección de muestras.
Riesgo de quemaduras en la piel por exposición prolongada al cemento.	<ul style="list-style-type: none">• Es recomendable el uso de guantes, ropa de protección y protección para los ojos.

	<ul style="list-style-type: none"> • En caso de contacto lavar el área afectada con abundante agua y en caso de ser los ojos, al menos por 15 minutos. • El laboratorio debe estar equipado con estaciones de lavado. • Quitarse la ropa contaminada inmediatamente después de la exposición.
Exposición a temperaturas elevadas.	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar guantes resistentes a la temperatura al momento de introducir y retirar los crisoles a la mufla.

CONTROL DE CAMBIOS

Edición / Fecha	Descripción de Cambios

(Fuente: Laboratorio de control de calidad)

ANEXO 7

REGISTRO DE “INFORME DE RESULTADOS EVALUACIÓN ZSCORE”

INFORME DE RESULTADOS EVALUACION Z-SCORE	
RESULTADOS COMPOSICION QUIMICA FRX S8	BLAINE
SiO2	TIEMPO (seg.)
Al2O3	Temperatura (°C)
Fe2O3	Resultado Blaine
CaO	
MgO	RETENIDO MALLA N° 325
SO3	Peso retenido en tamiz
Na2O	Factor tamiz
K2O	Resultado Ret. 325
PERDIDA AL FUEGO	RESULTADO DIFRACCION DRX
Hora inicial	C3S
Hora final	CALCITA
Peso crisol vacio	CAL LIBRE
Peso crisol + muestra calcinada)	PZ D2
Resultado LOI	
Observaciones:	Nombre:
	Fecha:
	Tipo de Muestra:

(Fuente: Laboratorio de control de calidad)

ANEXO 8

TABLA PARA RESULTADOS DEL BLAINE

DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD														
TABLA PARA BLAINES EN EL PERMEABILIMETRO														
1P-GU														
FECHA:														
BLAINE PATRON	TIEMPO	T	E	M	P	E	R	A	T	U	R	A		
		18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	3818	40	3391	3387	3383	3379	3375	3367	3359	3355	3352	3348	3344	3340
		41	3433	3429	3425	3421	3417	3409	3401	3397	3393	3389	3385	3381
	PESO=	42	3475	3471	3467	3463	3459	3450	3442	3438	3434	3430	3426	3422
	2.4752	43	3516	3512	3508	3504	3499	3491	3483	3479	3475	3471	3467	3463
		44	3557	3552	3548	3544	3540	3532	3523	3519	3515	3511	3507	3503
		45	3597	3593	3588	3584	3580	3572	3563	3559	3555	3551	3547	3542
		46	3637	3632	3628	3624	3619	3611	3603	3598	3594	3590	3586	3582
		47	3676	3672	3667	3663	3659	3650	3641	3637	3633	3629	3625	3620
		48	3715	3710	3706	3702	3697	3689	3680	3676	3671	3667	3663	3659
		49	3753	3749	3744	3740	3736	3727	3718	3714	3709	3705	3701	3697
		50	3791	3787	3782	3778	3774	3765	3756	3752	3747	3743	3738	3734
		51	3829	3825	3820	3816	3811	3802	3793	3789	3784	3780	3776	3771
		52	3866	3862	3857	3853	3848	3839	3830	3826	3821	3817	3812	3808
		53	3903	3899	3894	3890	3885	3876	3867	3862	3858	3853	3849	3844
		54	3940	3935	3931	3926	3922	3912	3903	3899	3894	3890	3885	3881
		55	3976	3972	3967	3962	3958	3948	3939	3935	3930	3925	3921	3916
		56	4012	4008	4003	3998	3994	3984	3975	3970	3966	3961	3956	3952
		57	4048	4043	4039	4034	4029	4020	4010	4006	4001	3996	3992	3987
		58	4083	4079	4074	4069	4064	4055	4045	4041	4036	4031	4026	4022
		59	4118	4114	4109	4104	4099	4090	4080	4075	4070	4066	4061	4056
		60	4153	4148	4143	4139	4134	4124	4114	4110	4105	4100	4095	4091
		61	4188	4183	4178	4173	4168	4158	4149	4144	4139	4134	4129	4124
		62	4222	4217	4212	4207	4202	4192	4182	4178	4173	4168	4163	4158
		63	4256	4251	4246	4241	4236	4226	4216	4211	4206	4201	4196	4192
		64	4289	4284	4279	4274	4269	4259	4249	4244	4239	4234	4230	4225
		65	4323	4318	4313	4308	4303	4292	4282	4277	4272	4267	4262	4258
		66	4356	4351	4346	4341	4335	4325	4315	4310	4305	4300	4295	4290
		67	4389	4384	4378	4373	4368	4358	4348	4343	4338	4333	4328	4323
		68	4421	4416	4411	4406	4401	4390	4380	4375	4370	4365	4360	4355
		69	4454	4449	4443	4438	4433	4423	4412	4407	4402	4397	4392	4387
		70	4486	4481	4475	4470	4465	4454	4444	4439	4434	4429	4423	4418
		71	4518	4513	4507	4502	4497	4486	4476	4470	4465	4460	4455	4450
		72	4550	4544	4539	4534	4528	4518	4507	4502	4497	4491	4486	4481
		73	4581	4576	4570	4565	4560	4549	4538	4533	4528	4522	4517	4512
		74	4612	4607	4602	4596	4591	4580	4569	4564	4559	4553	4548	4543
		75	4643	4638	4633	4627	4622	4611	4600	4595	4589	4584	4579	4573
		76	4674	4669	4663	4658	4652	4641	4631	4625	4620	4614	4609	4604
		77	4705	4699	4694	4688	4683	4672	4661	4656	4650	4645	4639	4634
		78	4735	4730	4724	4719	4713	4702	4691	4686	4680	4675	4669	4664
		79	4766	4760	4754	4749	4743	4732	4721	4716	4710	4705	4699	4694
		80	4796	4790	4784	4779	4773	4762	4751	4745	4740	4734	4729	4723
		81	4826	4820	4814	4809	4803	4792	4780	4775	4769	4764	4758	4753
		82	4855	4850	4844	4838	4832	4821	4810	4804	4799	4793	4788	4782
		83	4885	4879	4873	4868	4862	4850	4839	4834	4828	4822	4817	4811
		84	4914	4908	4903	4897	4891	4880	4868	4863	4857	4851	4846	4840

(Fuente: Laboratorio de control de calidad)

ANEXO 9

REGISTRO DE CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL PERMEABILIMETRO

	REGISTRO DE VERIFICACION DE EQUIPOS DE SEGUIMIENTO Y MEDICION	Cód.: RCC-MT- 002- GL Fecha: 27.01.2020 Rev.: 02										
Datos del Equipo de Medición a Verificar												
Area: ANALISTAS	Fecha: 20/04/2021	Hora: 15h										
Equipo: PERMEABILIMETRO DE BLAINE PER-001	Rango de Uso:											
Magnitud a Medir: (marque uno)												
Temperatura: <input type="text"/>	Masa: <input type="text"/>	Peso: <input type="text"/>										
Presión: <input type="text"/>	Volumen: <input type="text"/>	Caudal: <input type="text"/>										
Otro: SUPERFICIE	Velocidad: <input type="text"/>	Tiempo: <input type="text"/>										
Temperatura del Laboratorio: 23º	Humedad Relativa: 47%											
Error máx. permitido: ± 78 cm ² /g												
Equipos Patrón Utilizados:												
Código	Equipo	Incertidumbre	Magnitud									
114Q	CEMENTO PATRON		3818 ± 78 cm ² /g									
Ensayos:												
	Altura				Distancia				Distancia			
Nº	Equipo Patrón g/cm²	Equipo Verificar g/cm²	Error g/cm²	Límite de aceptación g/cm²	Equipo Patrón g/cm²	Equipo Verificar g/cm²	Error g/cm²	Límite de aceptación g/cm²	Equipo Patrón g/cm²	Equipo Verificar g/cm²	Error g/cm²	Límite de aceptación g/cm²
1	3818	3850.00	32.00	± 78			0.000	± 78			0.00	± 78
2	3818	3818.00	0.00	± 78			0.000	± 78			0.00	± 78
3	3818	3810.00	-8.00	± 78			0.000	± 78			0.00	± 78
4	3818	3830.00	12.00	± 78			0.000	± 78			0.00	± 78
5	3818	3830.00	12.00	± 78			0.000	± 78			0.00	± 78
6	3818	3810.00	-8.00	± 78			0.000	± 78			0.00	± 78
7	3818	3818.00	0.00	± 78			0.000	± 78			0.00	± 78
8	3818	3818.00	0.00	± 78			0.000	± 78			0.00	± 78
9	3818	3840.00	22.00	± 78			0.000	± 78			0.00	± 78
10	3818	3820.00	2.00	± 78			0.000	± 78			0.00	± 78
DESV		12.98888				#iDIV/0!					#iDIV/0!	
		desvest1				desvest2					desvest3	
Determinación de la Incertidumbre de la Verificación:												
Incertidumbre estándar tipo A												
Desviación estándar de la muestra (lecturas del instrumento a verificación)												
Nº comparaciones entre equipo patrón e instrumento de medición (tamaño de la muestra)												
$U_A = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$												
UA	=											
DESV	=											
n	=											
Resultado UA1	=	<input type="text"/>	Resultado UA2	=	<input type="text"/>	Resultado UA3	=	<input type="text"/>				
OBSERVACIONES:												
Realizado por:						Revisado por:						

(Fuente: Laboratorio de control de calidad)

ANEXO 10

INFORME DE CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Mantenimiento preventivo: S8 Tiger 3Kw SN: 205183 / 08 - junio 2020					
[Redacted]					
Cliente: [Redacted]					
Responsable: [Redacted]					
Ciudad: [Redacted]					
País: [Redacted]					
Espectrómetro: S8 Tiger 205183					
Configuración:					
Cristales: LiF200, PET, XS-55, XS-CEM					
Colimadores: 0,46 - 0,23					
Detectores: SC, FC					
Unidad de enfriamiento interna: Nuevo tipo					
Firmware: Version=5.15/23-Sept-2013					
Generador firmware: K431 V2.01					
S8-Tools 1.82					
Version SpectraPlus: 3.0.2.11					
Configuración cargador muestras: 1 Area, Copas					
Modo usado mayormente: Vacío					
Preparacion de muestras: Pastillas prensadas, perlas fundidas					
Ambiente del espectrómetro: Limpio					
Unidad de enfriamiento externa: Si					
Sistema UPS: Si					
Inspección:		Antes MP		Despues MP	
Sistema de Vacío:	Valor	Descripción	STA-TUS	Value	STATUS
Vacío es Standby (1h):	480	Nuevo tipo de sensor	OK	410	OK
Vacío durante la medición:	710	Nutrings gonio-metro No OK	OK	640	OK
Vacío con la cámara ventilada (5 min):			OK	550	OK
He and He-Atm:			N/A	N/A	N/A
Color de aceite bomba de vacío:	Amarillento		No OK	OK	OK
Ambiente alrededor de la bomba de vacío	Sucio		No OK	Limpio	OK
Agua:					
Flujo de agua (4,0 – 6,0 l/min):	4,5		OK	4,50 l/min	OK
Conductividad (0,1 – 2,0 µS):	0,25 µS		No OK	0,20 µS	OK
% de rev bomba de agua (40 –60 l/min):	57,2%		OK	47%	OK
Heat Exchanger –air internal cooling unit	Semi limpio		No OK	Limpio	OK

Inspección:	Antes MP				Despues MP			
	Resolución	PHA	HV	STAT	Resolución	PHA	HV	STAT
Flow counter Zn KB, 0,23, LiF200, SQ1 -FC	15	103	1390	NO OK	14%	102	1350	OK
Scintillation counter Zn KB, 0,23, LiF200, SQ1	37	100	631	OK	37%	100	630	OK
Line Shift Flow Counter	DESCRIPCION N/A			STAT N/A	STATUS OK			
Inspección:	Antes MP			Despues MP				
Funcionalidad del cargador	DESCRIPCION HECHO			ESTADO OK		ESTADO HECHO OK		
Prueba de 4 posiciones								
Tubo y Generador	DESCRIPCION			ESTADO		ESTADO		
Ventana del tubo	OK			OK		OK		
Filtro de generador	No aplica							
Descargas del tubo (GS11)	GS 5			OK		5		
Camara del espectrometro	DESCRIPCION			ESTADO		ESTADO		
Revision visual:	Sucio			No OK		OK		
Goniometro	DESCRIPCION			ESTADO		ESTADO		
Piñones	Engrasado			hecho		OK		
Intensidad muestra Cu	20kV / 10mA	40kV / 20mA	ESTADO		ESTADO			
Cu KB - 0,23 – LiF200 – Cu Sample	FC: 13,48 kcps Res: 16% SC: 47,00 kcps	FC: 128 kcps Res: 17% SC: 484 kcps	OK		OK			
Intensidad Rh	KA	LA			ESTADO			
Intensity Rh (50/50, GRA Sample)	352 kcps	22 kcps (0,23)			OK			
Impureza espectral	Cu KA (net)		Fe KA (net)		ESTADO			
Spectral Impurity (50/50, 023)	2,2 kcps		1,2 kcps		OK			

Partes cambiadas:					
O-Ring	C79298-A3204-C10	x	Generator Filter	C79298-A3248-C45	N/A
O-Ring	C79298A3204C14	x	Nutring Rotation	C79121-Z101-A21	x
O-Ring	C71121-Z100-A8	x	Nutring Filterwheel	C79121-Z101-A21	x
O-Ring	C79298-A3204-C17	x	Nutring Soller	C79121-Z101-A21	x
O-Ring	C79298-A3204-C16	x	Nutring Vacuumseal	C79121-Z101-A21	✓
O-Ring	C71121-Z100-A307	x	O-Ring Sens. Filter	C79298-A3204-C18	✓
O-Ring	C71121-Z100-C41	x	Vacuum pump oil	K290-C32	✓
O-Ring	C71121-Z100-A23	x	Turbine for flow	K140-C19	N/A
			Resin	K280-C6	✓
FOT Water-Pump	A14D2	✓	Vacuum Seal	C79298-A3246-B99	x
Detector Foil	C71428-A4-D14	✓	Goniometer Lipring	C79121-Z101-A24	x
Flow counter tube wires	C70144-A952-B40	✓	Goniometer Lipring	C79121-Z101-A24	x

Datos de control S8-Check								
Compuesto	Concentración Típica %	Medidas Bruker %	Antes de Calibrar %	Kcps Antes de calibrar	Después de Calibrar %	Kcps después de calibrar	Máxima Desviación %	Desviación Actual %
Na ₂ O	11 - 15	14.1	14.0	123.54	14.2	131.97	0.5	-0.1
Al ₂ O ₃	0.6 - 1.7	0.48	0.48	6.57	0.49	6.76	0.03	-0.01
SiO ₂	67 - 73.5	71.0	70.5	136.93	70.9	143.46	1.5	0.1
CaO	4.0 - 6.0	5.18	5.17	96.02	5.24	100.51	0.2	-0.06
Fe ₂ O ₃	0.01 - 0.15	0.0383	0.0391	2.89	0.0391	2.94	0.002	-0.0008
Sb ₂ O ₃	0.20 - 1.00	0.69	0.69	46.17	0.69	46.23	0.2	0

Datos de control QE-Check						
Compuesto	Concentración Típica %	Medidas Bruker %	Antes de Calibrar %	Después de Calibrar %	Máxima Desviación %	Desviación Actual %
Na ₂ O	11 - 15	14.17	12.27	13.61	1.0	0.56
Al ₂ O ₃	0.6 - 1.7	0.46	0.46	0.47	0.15	-0.01
SiO ₂	67 - 73.5	71.03	72.24	71.40	2.0	-0.37
SO ₃	0.5 - 1.2	0.76	0.72	0.70	0.15	0.06
Cl	0.20 - 0.42	0.34	0.31	0.28	0.03	0.06
K ₂ O	4.0 - 6.0	5.14	5.45	5.26	0.3	-0.12
CaO	4.0 - 6.0	5.25	5.48	5.32	0.3	-0.07
Fe ₂ O ₃	0.01 - 0.15	0.04	0.46	0.04	0.01	0.00
SrO	1.3 - 2.5	2.05	2.22	2.14	0.4	-0.09
Sb ₂ O ₃	0.20 - 1.00	0.69	0.74	0.70	0.07	-0.01

(Fuente: Laboratorio de control de calidad)

ANEXO 11

INFORME DE CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

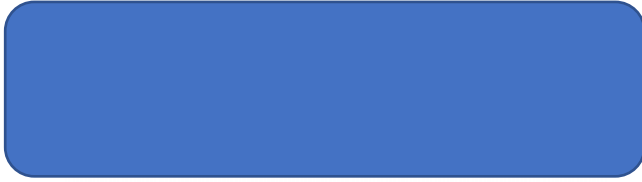


REPORTE DE SERVICIO TÉCNICO

Cliente:	
Dirección:	
Fecha :	
Duración del Servicio:	
Usuario:	
E-mail :	
Tipo de Servicio:	
Técnico	
Equipo:	Difractómetro de RX
Modelo:	Bruker D2 Phaser
Número de Serie:	205377
Información de Tubo de Rx:	Marca: Siemens Modelo: KFL CU 2K N.S: 471817

Acciones realizadas:

- Se verifica el estado del instrumento previo a la realización del mantenimiento.
- Se desarma el instrumento y se realiza la limpieza interna, tarjetas electrónicas, compartimiento de muestras, generador de alta tensión, intercambiador de calor, fuente de poder, detector e interfaz de detector Lynxeye, tubo de rayos X, ventiladores, etc.
- Se verifica el circuito de líquido refrigerante, bomba, mangueras, tubos de rayos X y cada una de sus conexiones.
- Se verifican y limpian las conexiones eléctricas y electrónicas internas del instrumento.
- Se realiza la limpieza y lubricación del goniómetro, rieles de movimiento, tornillo sin fin y sistema de rotación de muestra.
- Se realiza la limpieza de los sensores ópticos de referencia de posición del goniómetro y rotación de muestra.
- Se realiza la verificación de PH del líquido refrigerante encontrándose dentro de parámetros normales de operación.
- Se realiza la limpieza de las placas de iluminación tanto para el reservorio de líquido refrigerante como del compartimiento de goniómetro.
- Se realiza el cambio de tarjeta electrónica de control de alta tensión y circuito de seguridad.
- Se realiza el cambio de los filtros de aire del instrumento.
- Se limpia el interior del porta tubo de rayos X.
- Se realiza el cambio de los sellos de líquido refrigerante del tubo de rayos X.
- Se verifica y cambia la lámina aislante de la cámara del tubo de rayos X.
- Se realiza el cambio sellos de líquido refrigerante del tubo de rayos X.
- Se limpia y verifica los puntos de contacto del cable de alimentación de alta tensión del tubo de rayos X.
- Se verifica el correcto movimiento del goniómetro con sus respectivos componentes (verificación de no stress de los cables durante el movimiento del goniómetro, colisiones).
- Se actualiza el software (Difrac.Suite) y firmware del instrumento a la última versión disponible liberada por el fabricante de control de instrumento.
- Se configura, verifica y realizan pruebas de funcionamiento de la nueva tarjeta electrónica de control de alta tensión y circuito de seguridad instalada.



- Se realiza la verificación del alineamiento del goniómetro con estándar certificado de corindón y glass slit encontrando que es necesario realizar un ajuste y se procede a realizar un alineamiento del ZERO del goniómetro.
- Se realiza el ajuste de posición y resolución del detector multipunto Lynxeye.
- Se realiza el alineamiento del ZERO del goniómetro.
- Se verifica el funcionamiento del instrumento con estándar certificado de corindón obteniendo resultados satisfactorios dentro de los parámetros establecidos por del fabricante.

Repuestos recomendados para el próximo mantenimiento:

- Tarjeta electrónica de control del instrumento.

Atentamente:

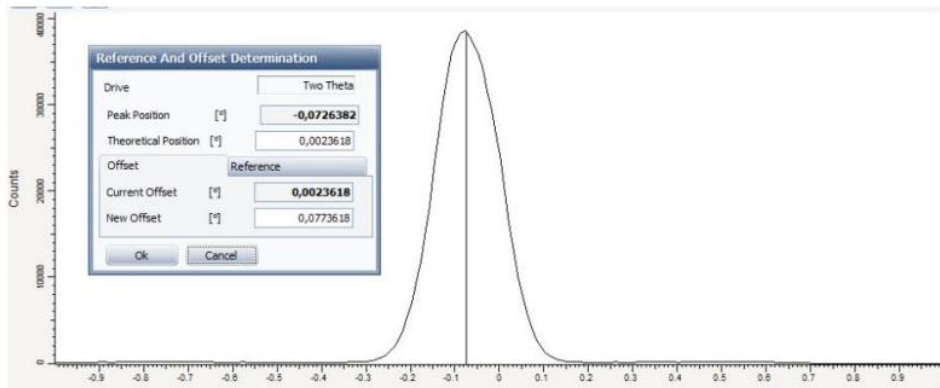
A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'J. P. ...', written over a horizontal line.



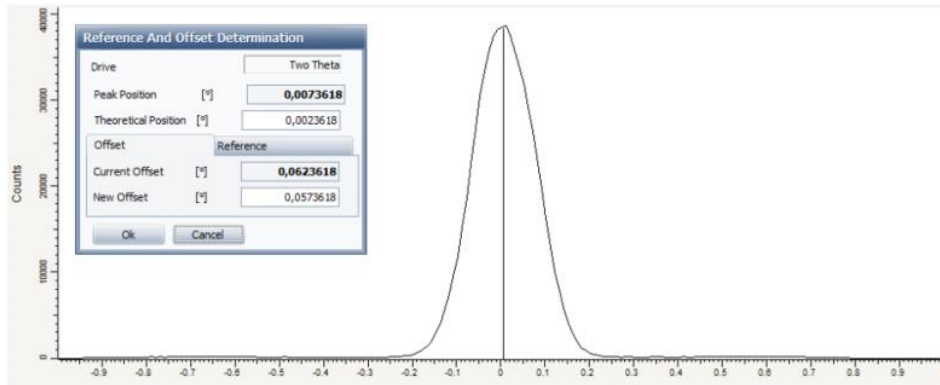


Anexos:

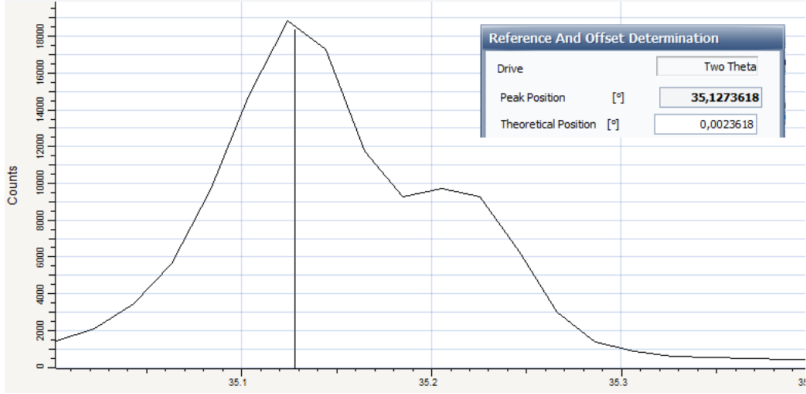
Zero de Goniómetro antes del mantenimiento:



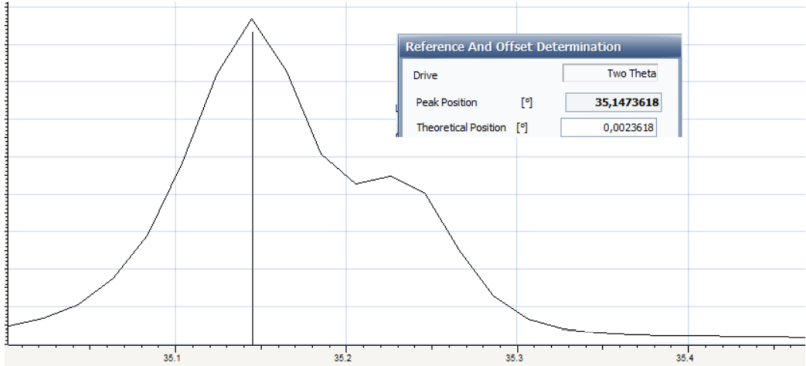
Zero de Goniómetro después del mantenimiento:



Verificación del corindón antes del mantenimiento:



Verificación del corindón después del mantenimiento:



(Fuente: Laboratorio de control de calidad)

ANEXO 12

INSTRUCTIVO PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA EL ANÁLISIS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

INSTRUCTIVO PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS POR FRX (PASTILLAS PRENSADAS)

- Homogenizar la muestra
- Pesarse la muestra de acuerdo con la cantidad indicada para cada material y la cantidad de aglomerante determinada según la siguiente tabla.

MATERIAL	MASA	AGLOMERANTES	MOLINO	PROGRAMA S8
Calizas	10g	-	HERZOG	CALIZAS
Arcilla	10g	-	HERZOG	QUANTEXPRESS
Yeso	10g	-	HERZOG	QUANTEXPRESS
Puzolana	15g	2	HERZOG	QUANTEXPRESS
Mix de Hierro	10g	-	HERZOG	QUANTEXPRESS
Crudo	10g	1	HERZOG	ALIMENTACION
Harina Caliente	15g	2	HERZOG	QUANTEXPRESS
Clinker	15g	2	HERZOG	CLINKER
Cementos	10g	-	-	CEMENTO 2019
Muestra Desconocida	10g	-	HERZOG	QUANTEXPRESS

- Asegurarse que el vibro molino HERZOG y el mortero de anillos estén completamente limpios, sin contaminación de restos de muestras



- Colocar en el mortero de anillos, el material pesado, tapar y llevar al receptor de morteros del molino de anillos HERZOG.
- En el molino de anillos ajustar manualmente el brazo que asegura el mortero y cerrar la tapa exterior del equipo.
- Presiona el botón BLANCO para el inicio de la molienda (en caso de emergencia presionar el botón ROJO. para parar el equipo).
- Una vez termina la operación de la molienda en el molino de anillos HERZOG, se espera un tiempo de 10 segundos hasta que el equipo quede liberado para abrir la tapa exterior del molino.

- Se mueve manualmente el brazo que asegura el mortero, hasta que quede libremente
- Procede a retirar el mortero con la muestra molida y llevar a la mesa para retirar la muestra y limpiar el mortero, posteriormente la muestra molida se prensa.
- Verificar que la fuerza a aplicar en la prensa electroneumática está establecida en 20 toneladas, para prensar la muestra pulverizada.



- Limpiar el tope del cilindro, del brazo de la Prensa HERZOG para evitar contaminación con restos de muestras



- Colocar el porta muestras (capsula de aluminio) en la Prensa HERZOG y proceder a añadir 10 gramos de la muestra pulverizada nivelando al borde del porta muestras y limpiar alrededor



- Mover el brazo de la prensa HERZOG a posición de prensado con precaución
- Presionar botón VERDE para el inicio del ciclo de prensado de la muestra.
- Asegurarse de cumplir el tiempo total de prensado
- Cuando termine el ciclo de prensado, mover el brazo de la prensa HERZOG y procede a retirar la pastilla prensada
- La pastilla prensada estará lista para realizar el análisis solo si no presenta grietas ni fisuras que pudieran ocasionar un daño en el tubo de rayos X del equipo de fluorescencia.

(Fuente: Laboratorio de control de calidad)

ANEXO 13

INSTRUCTIVO PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA EL ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

INSTRUCTIVO PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS POR DRX

- Homogenizar la muestra
- Pesarse la muestra de acuerdo con la cantidad indicada para cada material y la cantidad de aglomerante determinada según la siguiente tabla.

MATERIAL	MASA	AGLOMERANTES	MOLINO	PROGRAMA S8
Calizas	10g	-	HERZOG	CALIZAS
Arcilla	10g	-	HERZOG	QUANTEXPRESS
Yeso	10g	-	HERZOG	QUANTEXPRESS
Puzolana	15g	2	HERZOG	QUANTEXPRESS
Mix de Hierro	10g	-	HERZOG	QUANTEXPRESS
Crudo	10g	1	HERZOG	ALIMENTACION
Harina Caliente	15g	2	HERZOG	QUANTEXPRESS
Clinker	15g	2	HERZOG	CLINKER
Cementos	10g	-	-	CEMENTO 2019
Muestra Desconocida	10g	-	HERZOG	QUANTEXPRESS

- Asegurarse que el vibro molino HERZOG y el mortero de anillos estén completamente limpios, sin contaminación de restos de muestras



- Colocar en el mortero de anillos, el material pesado, tapar y llevar al receptor de morteros del molino de anillos HERZOG.
- En el molino de anillos ajustar manualmente el brazo que asegura el mortero y cerrar la tapa exterior del equipo.
- Presiona el botón BLANCO para el inicio de la molienda (en caso de emergencia presionar el botón ROJO. para parar el equipo).

- Una vez que termina la operación de la molienda en el molino de anillos HERZOG, se espera un tiempo de 10 segundos hasta que el equipo quede liberado para abrir la tapa exterior del molino.
- Se mueve manualmente el brazo que asegura el mortero, hasta que quede libremente
- Procede a retirar el mortero con la muestra molida y llevar a la mesa para retirar la muestra y limpiar el mortero, posteriormente la muestra molida se prensa.
- Verificar que la fuerza a aplicar en la prensa electroneumática este establecida en 20 toneladas, para prensar la muestra pulverizada.



- Limpiar el área de prensado para evitar contaminación con restos de muestras
- Retirar la lata de aluminio usada, limpiar el anillo porta muestras y reemplazar la lata usada por una nueva.



Anillo y lata de aluminio usado



Cambio de lata de aluminio usada por una nueva



Anillo porta muestras limpio
análisis



Anillo y lata de aluminio listos para

- Proceder a añadir la muestra pulverizada en el anillo portamuestra, colocar 2 cucharadas de muestra usando la cuchara dosificadora



- Colocar el anillo con la muestra en la prensa de difracción y cubrir la parte superior con un vidrio cuadrado
-



- Presionar el botón rojo para realizar el prensado de la muestra, mantener presionado el botón por 6 segundos.
- Luego retirar el anillo con la muestra prensada
- La muestra prensada estará lista para realizar el análisis solo si no presenta grietas ni fisuras.

(Fuente: Laboratorio de control de calidad)

ANEXO 14

ANEXO 14: REGISTRO DE CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL TAMIZ 325

		REGISTRO DE VERIFICACION DE EQUIPOS DE SEGUIMIENTO Y MEDICION	Cód.: RCC-MT- 002- GL Fecha: 27.01.2020 Rev.: 02									
Datos del Equipo de Medición a Verificar												
Area:	Area de ensayos físicos - finura		Fecha: 20/04/2021 Hora: 14h00									
Instrumento :	Tamiz 325		Rango de Uso: 0,5-5 % Retenido									
Magnitud a Medir: (marque uno)												
Temperatura:	<input type="text"/>	Masa:	<input type="text"/>									
Presión:	<input type="text"/>	Volumen:	<input type="text"/>									
Otro:	Finura - Tamiz 325 - 45 um											
Temperatura del Laboratorio:	23 °C		Humedad Relativa: 47%									
Error máx. permitido:	N/A - Cálculo de factor de corrección											
Equipos Patrón Utilizados:												
Código	Equipo	Incertidumbre	Magnitud									
SMR-NIST 46 H	Cemento Patrón 46 H	0.79%	Finura									
Lecturas												
N°	Tamiz 1				Tamiz 3				NIST 46H	Retenido T-325	Error %	Fc
	NIST 46H	Retenido T-325	Error %	Fc	Cemento Verificación	Retenido T-325	Error %	Fc				
1	7.4300	6.75	0.6800	0.10								
2	7.4300	6.72	0.7100	0.11								
3	7.4300	6.7500	0.6800	0.10								
DESV		0.01732		0.10		#iDIV/0!		#iDIV/0!		#iDIV/0!		#iDIV/0!
		desvest1				desvest2				desvest3		
Determinación de la Incertidumbre de la Verificación:												
$U_A = \frac{\sigma^{n-1}}{\sqrt{n}}$												
UA = Incertidumbre estándar tipo A DESVEST = Desviación estándar de la muestra (lecturas del instrumento a verificación) n = N° comparaciones entre equipo patrón e instrumento de medición (tamaño de la muestra)												
Resultado UA1 =	0.005477226		Resultado UA2 =	#iDIV/0!		Resultado UA3 =	#iDIV/0!					
OBSERVACIONES: Se realiza la calibración de tamiz humbolt con cemento patrón NIST 46H												
Realizado por: _____						Revisado por: _____						

(Fuente: Laboratorio de control de calidad)