

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial 15018, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 29 de noviembre de 1976.

Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales
Maestría en Ingeniería y Gestión de la Calidad



Mejora de la producción del mortero de albañilería

TESIS que para obtener el **GRADO** de
MAESTRO EN INGENIERÍA Y GESTIÓN DE LA CALIDAD

Presenta: **RICARDO ALBERTO RIOS OYERVIDES**

Asesor **IGNACIO ÁLVAREZ PLASCENCIA**

Tlaquepaque, Jalisco. Noviembre de 2022.

Abstracto

El presente documento describe la solución de un problema actual relacionado con la variación de las características de calidad en la producción de cemento mortero, con base en el entendimiento del proceso mediante la metodología DMAIC de Seis Sigma, que ofrece una guía estructurada para definir el problema utilizando herramientas de calidad como el mapeo del proceso, medir la oportunidad de mejora, comenzando por los sistemas de medición y los estudios de repetibilidad y reproducibilidad, para posteriormente aplicar métodos estadísticos que van a proponer acciones partiendo de una línea base definida por la capacidad del proceso; así también el análisis de causas y efectos, tanto para identificar posibles fallas y sus soluciones como para desarrollar las relaciones entre variables independientes y las variables de respuesta propuestas y lograr definir las formas en cómo mejorar el desempeño; posteriormente se implementan esas mejoras y se da seguimiento de resultados respecto al tiempo, finalmente se crea y se implementa la estrategia de control del proceso para mantener los resultados obtenidos a largo plazo y se cuantifica el beneficio económico planteado; como punto final la experiencia es documentada como un caso de estudio que pueda ser consultado como referencia para futuros trabajos de investigación.

Palabras Clave: DMAIC, Six Sigma, manufactura, experimentos, cemento mortero.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi esposa Araceli por toda la paciencia y el apoyo que me ha brindado siempre.

Agradecimientos

Agradezco a mi asesor, el Maestro Ignacio Álvarez Plascencia por su excelente trabajo de asesoría, que me llevó de manera efectiva a la culminación de este presente Trabajo de Grado.

Así también al coordinador de Progrado, el Maestro Miguel Cazares Munguía, y al coordinador de la Maestría de Ingeniería y Gestión de la Calidad, el Maestro Juan Pablo Zatarain Hernández, por ayudarme con la parte administrativa durante el tiempo de este proceso.

Agradezco también a la empresa donde trabajo, Alamo Cement, por brindarme las facilidades de contar con los recursos de tiempo y soporte para lograr este objetivo profesional, en especial a:

Mi jefe Jorge Espinosa, Gerente de Planta, por darme la oportunidad.

Mis compañeros de equipo del área de calidad, señores Ben Padilla y Frank Nava por su ayuda con las pruebas de laboratorio.

Mis compañeros del área de producción que me han dado su confianza para la implementación de mejoras.

TABLA DE CONTENIDO

Maestría en Ingeniería y Gestión de la Calidad	1
CAPITULO 1 - FUNDAMENTACION DEL TRABAJO	8
1 Fundamentación del trabajo	9
1.1 Descripción del escenario donde se planea intervenir.....	9
1.2 Descripción de los cementos producidos, sus propiedades distintivas y usos.....	10
1.2.1 Cementos Portland – Tipos I/II y III.....	10
1.2.2 Cementos Mezclados – Cemento Portland con Caliza Tipo II	11
1.2.3 Cementos Morteros – Mortero de Albañilería	12
1.3 Proceso de producción de cemento.....	13
1.4 Descripción de la problemática percibida que justifica la intervención.....	14
1.5 Validación de las condiciones del escenario.....	15
1.6 Análisis del contexto y el objetivo de estudio.....	22
1.7 Análisis inicial de la problemática.....	23
1.8 Objetivos de Investigación	24
1.9 Delimitación de la Investigación	24
CAPITULO 2 - MARCO CONCEPTUAL O REFERENCIA	25
2 Marco conceptual o de referencia.....	26
2.1 Estado de la cuestión.....	26
2.2 Conceptos y enfoques teóricos relacionados.....	26
2.2.1 Teoría de color	26
2.2.2 Resistencia de un cemento.....	29
2.2.3 Materiales	29
2.2.4 Proceso de molienda de cemento.....	30
2.2.5 Diseño de mezclas.....	30
2.2.6 Metodología DMAIC – Seis Sigma.....	32
CAPITULO 3 – MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	33
3 Marco Metodológico de la investigación.....	34
3.1 Metodología DMAIC- Seis Sigma	34
3.1.1 Definición del problema de calidad y planeación del trabajo	34
3.1.2 Medición y definición de línea base	34
3.1.3 Análisis y desarrollo de relaciones de causa – efecto.....	35
3.1.4 Implementación de las mejoras propuestas	35
3.1.5 Implementación de la estrategia de control.....	35

CAPITULO 4 – ETAPA DE DEFINICIÓN	37
4 Definición del Problema de Calidad.....	38
4.1 Introducción.....	38
4.2 Voz del cliente	38
4.3 Competencia.....	42
4.4 Diagrama de Árbol – <i>Critical To Quality</i>	44
4.5 Diagrama SIPOC de las Operaciones – Descripción del proceso.....	44
4.6 <i>QFD</i> – Casa de la Calidad.....	46
4.7 Mapa del proceso.....	48
4.8 Análisis FODA – fortalezas/ oportunidades/debilidades/ amenazas.....	49
Resumen de Análisis FODA (Fig. 18).....	51
4.9 <i>Project Charter</i>	51
Carta del Proyecto.....	51
4.10 Plan de trabajo – GANTT	57
CAPITULO 5 – ETAPA DE MEDICIÓN	58
5 Medición – análisis del sistema de medición y definición de línea base	59
5.1 Introducción.....	59
5.2 Estudio de los sistemas de medición de variables.....	59
5.2.1 Estudio R&R del sistema de medición para Color	63
5.2.2 Estudio R&R del sistema de medición para L	65
5.2.3 Resistencia a la compresión.....	67
5.3 Análisis X-Y	69
5.4 Cálculo de Nivel Sigma del proceso.....	71
5.5 Mapa de procesos a detalle con entradas y salidas.....	72
5.6 Definiciones operacionales	73
5.7 Análisis de carta de corridas.....	74
5.8 Control del proceso.....	79
5.9 Análisis de capacidad de proceso	86
5.9.1 Mortero tipo S – Resistencias a 3 días – Compositos.....	86
5.9.2 Mortero Tipo S- Color – Compositos	90
5.9.3 Mortero Tipo N – Resistencias A 3 Dias – Compositos.....	93
5.9.4 Mortero Tipo N – Color – Compositos.....	96
5.10 5 puntos de Vista.....	99
5.11 Definición del problema.....	100
5.12 Conclusiones.....	108
CAPITULO 6 – ETAPA DE ANÁLISIS	109
6 Análisis y desarrollo de relaciones	110

6.1	Introducción:.....	110
6.2	Diagrama de Causa – Efecto (Ishikawa).....	110
6.3	Diagramas de Árbol – Fallas.....	112
6.4	Matriz de Causa Efecto	117
6.5	FMEA (Análisis del Modo y Efecto de Fallas).....	119
6.6	Estratificación de datos	122
6.7	Frecuencias estratificadas.....	123
6.8	Diagramas de dispersión	125
6.9	Regresión y correlación.....	127
6.10	Pruebas de hipótesis	131
6.11	Diseño de Mezclas: Pruebas de Laboratorio.....	135
6.11.1	Principio.....	135
6.11.2	Propósito de los experimentos a nivel laboratorio.....	135
6.11.3	Proceso de preparación.....	138
6.11.4	Resultados de las mezclas preparadas.....	139
6.11.5	Regresión para mezclas: color vs. Clinker, yeso, caliza.....	141
6.11.6	Regresión para mezclas: L vs. Clinker, yeso, caliza.....	145
6.11.7	Regresión para mezclas: a vs. Clinker, yeso, caliza	148
6.11.8	Regresión para mezclas: b vs. Clinker, yeso, caliza.....	152
6.11.9	Conclusiones.....	157
6.12	Diseño de Mezclas: Pruebas Industriales.....	158
6.12.1	Pruebas de hipótesis: pruebas t sobre 2 muestras.....	162
6.12.2	Regresión para mezclas: Color vs. Clinker, Yeso, Caliza, TPH Mill	170
6.12.3	Regresión para mezclas: L vs. Clinker, Yeso, Caliza, TPH Mill	174
6.12.4	Regresión para mezclas: a vs. Clinker, Yeso, Caliza, TPH Mill.....	177
6.12.5	Regresión para mezclas: b vs. Clinker, Yeso, Caliza, TPH Mill	180
6.12.6	Regresión para mezclas: Blaine vs. Clinker, Yeso, Caliza, TPH Mill	183
6.12.7	Regresión para mezclas: Resist.a 3 Días vs. Clinker, Yeso, Caliza, TPH Mill	186
6.12.8	Resultados.....	189
6.13	Matriz de prioridades	192
6.14	Gantt – calendario de actividades	193
6.15	Conclusiones.....	193
CAPITULO 7 – ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS		194
7	Implementación de mejoras	195
7.1	Introducción.....	195
7.1.1	Planeación de Recursos.....	195
7.1.2	Plan de control (Implementación de controles).....	195

7.1.3	FMEA proyectado.....	197
7.1.4	Pruebas piloto.....	199
7.1.5	Ciclos de Mejora PDCA.....	200
7.1.6	Evaluación de resultados.....	203
7.2	Cálculo de Nivel Sigma después de Mejora	203
7.2.1	Mortero Tipo S – Color – Comparación de la capacidad Antes/Después	203
7.2.2	Mortero Tipo S - Resistencia a 3 Días – Capacidad Antes/Después.....	206
7.2.3	Mortero Tipo N – Color – Comparación de la capacidad Antes/Después	209
7.2.4	Mortero Tipo N – Resistencias a 3 Días – Capacidad Antes/Después.....	212
7.2.5	Resumen de resultados – Nivel Sigma.....	215
7.2.6	Conclusiones.....	216
CAPITULO 8 – ETAPA DE CONTROL		217
8	Plan de Control	218
8.1	Plan de Control	219
8.2	Monitoreo de Indicadores clave de desempeño (<i>KPI</i>).....	220
8.2.1	Resistencias a 3 Días.....	220
8.2.2	Color.....	221
8.2.3	Producción y consumo energético	222
8.2.4	Beneficio económico estimado.....	222
8.3	Reconocimiento	224
8.4	Conclusiones.....	224
CAPITULO 9 – DISCUSION FINAL		225
9	Discusión final.....	226
9.1	Consecuencias de la aplicación de la estrategia	226
9.2	Aspectos de mejora para Intervenciones subsecuentes.	227
BIBLIOGRAFIA.....		228
GLOSARIO		230
LISTA DE FIGURAS.....		231
LISTA DE TABLAS		235

**CAPITULO 1 -
FUNDAMENTACION DEL
TRABAJO**

1 Fundamentación del trabajo

El objetivo de este trabajo es mejorar la producción de mortero de albañilería mediante el control y optimización de la resistencia y el color, se asume que estas variables de respuesta dependen directamente de las proporciones de los constituyentes, así como de la finura del producto.

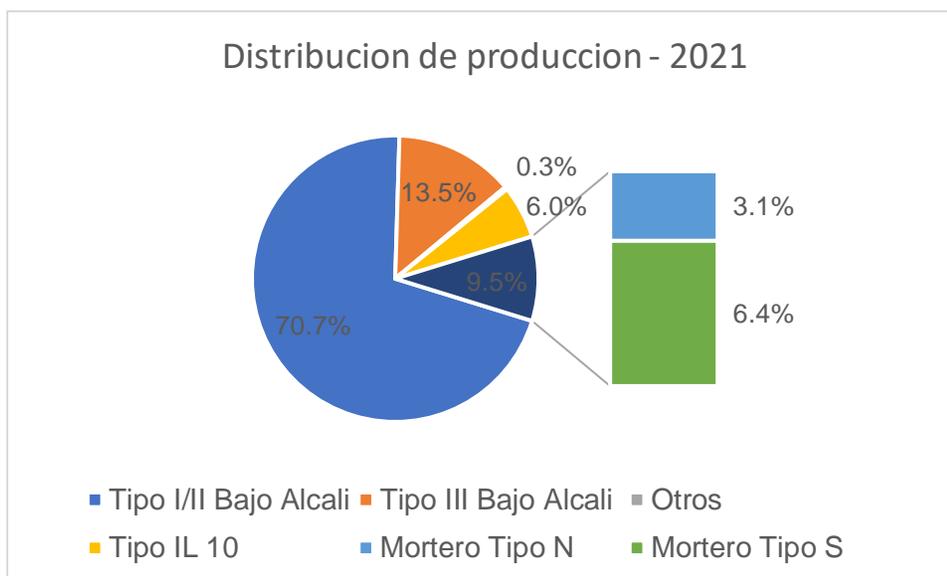
1.1 Descripción del escenario donde se planea intervenir

Alamo Cement fue fundada en 1880 en la ciudad de San Antonio, Texas, con el nombre de Alamo Portland and Roman Cement Company, en 1881 se cambió el nombre por Alamo Cement Company, promoviendo sus productos con la marca ALAMO, en 1908 la compañía se reorganiza con el nombre San Antonio Portland Cement y se mueve a la comunidad de Cementville, y es donde la fábrica permanecería hasta los años 80.

En 1979 la compañía fue comprada por una sociedad entre Vigier Ciments de Suiza y Presa Ltd de Italia, subsidiaria de Buzzi Unicem, ellos cambian nuevamente el nombre a Alamo Cement Company, y en 1980 se construye una planta modernizada en la actual localidad, operando ya por 42 años, y en 1985 la primera vende su participación a la empresa italiana, quedando la familia Buzzi a cargo.

La planta actualmente produce aproximadamente 1.1 millones de toneladas de diversos cementos por año, y la distribución se muestra en la siguiente figura (fig. 1):

Figura 1. Distribución de productos de la empresa Alamo Cement en 2021



La gama de productos que ha ofrecido es predominantemente cementos de alta resistencia para uso en producción de concreto y estructural, y hablamos de los tipos I/II y III bajo álcali, con una contribución aproximada de 84%, alrededor de 10% del total es Mortero de albañilería, de resistencia baja, utilizados generalmente para dar acabado a paredes interiores y exteriores de casa habitación y edificios, y para unir ladrillos de fachada que no requieren sostener esfuerzo mecánico.

Durante los pasados 5 años se ha estado produciendo Tipo IL 10 en pequeña proporción, de similar desempeño al Tipo I/II Bajo álcali, siendo su empresa hermana de concretos el único cliente; esto cambio en Julio de 2022, con la declaración de que la planta produciría Tipo IL sustituyendo todo el cemento Tipo I/II.

1.2 Descripción de los cementos producidos, sus propiedades distintivas y usos

1.2.1 Cementos Portland – Tipos I/II y III

El Cemento Portland fue inventado en el Siglo XIX, y fue básicamente nombrada en honor a la Isla de Portland en Inglaterra donde se podía sacar una roca que contenía la composición química ideal para hornearla y obtener un producto con propiedades hidráulicas y de fraguado.

En Estados Unidos, los cementos Portland son producidos de acuerdo con la norma de especificaciones ASTM C 150, que estipula los requerimientos químicos y de pruebas físicas que dan la denominación de tipo al cemento producido.

Típicamente los cementos Portland producidos con este estándar contienen Clinker en una proporción mayor a 85%, yeso en un 5% aproximadamente, y puede contener hasta un 5% de caliza y/o adición inorgánica de proceso, esta última debe tener propiedades de desempeño de resistencia a la compresión.

Existen 5 tipos de cemento Portland definidos:

Tipo I – Cemento para uso general

Tipo II- Cemento con resistencia moderada a los sulfatos

Tipo III- Cemento con alta resistencia a edad temprana

Tipo IV- Cemento con bajo calor de hidratación

Tipo V- Cemento con alta resistencia a los sulfatos

Tipo I/II es un cemento que cumple los requerimientos de los tipos I y II al mismo tiempo, mientras que el cemento Tipo III se produce moliendo los materiales a alta finura para obtener una resistencia rápidamente a 24 horas, esto lo hace un producto que consume mucha energía por unidad de masa.

Hasta recientemente el mercado de Estados Unidos era dominado casi en un 95% por el uso de cemento Portland Tipo I/II, pero con los recientes compromisos climáticos que se ha propuesto la administración del Gobierno, se ha estado promoviendo la producción de cementos con menor contenido de Clinker.

1.2.2 Cementos Mezclados – Cemento Portland con Caliza Tipo IL

Los cementos “mezclados”, que en inglés se denominan como “Blended Cement”, son constituidos por Clinker, yeso y proporciones de uno a dos componentes que sustituyen el primero y que pueden contribuir o no al desempeño de resistencia a la compresión y fraguado definidos en la norma estándar ASTM C 595.

El Cemento Portland con Caliza (Tipo IL 10) producido en la planta esta descrito en el estándar y básicamente está conformado por Clinker, yeso y un contenido nominal de 10% de caliza.

1.2.3 Cementos Morteros – Mortero de Albañilería

Los cementos morteros son básicamente una mezcla de baja resistencia a la compresión, con buenas propiedades de adhesión y moldeo y cuya función principal es dar acabado a paredes o ser utilizado con pasta para pegar ladrillo de fachada.

Existen técnicamente 3 tipos de mortero: N, S y M, y los requerimientos de pruebas están definidos en la norma estándar ASTM C 91, donde se indican sus valores distintivos de desempeño. (Véase Tabla 1).

Tabla 1. *Requerimientos físicos para cementos mortero (Ref. ASTM C91/C91M -18)*

Tipo de Cemento Mortero>	N	S
Finura, residuo en malla 325, máximo %	24	24
Expansión por autoclave, máximo %	1.0	1.0
Tiempo de Fraguado		
Resistencia a la compresión (promedio de 3 cubos)		
a 7 días (MPa/PSI) mínimo	3.4 (500)	9.0(1300)
a 28 días (MPa/PSI) mínimo	6.2(900)	14.5(2100)
% de Aire		
Mínimo, % volumen	8	8
Máximo, % volumen	21	19
Retención de Agua, mínimo % de flujo original.	70	70

Los componentes de un cemento mortero igualmente son Clinker, yeso y adiciones tanto inertes como la caliza o con propiedades puzolánicas, la distinción es que se utiliza alto % de adición. Se remarca que no existe dentro de la normativa un estándar para especificar, analizar o de prueba de color para cementos de ningún tipo, este es simplemente percibido visualmente por el cliente o usuario final, y la planta busca controlarlo en la producción midiendo y tomando acción sobre materiales y variables de proceso.

1.3 Proceso de producción de cemento

En forma general el proceso del cemento está integrado por las siguientes etapas:

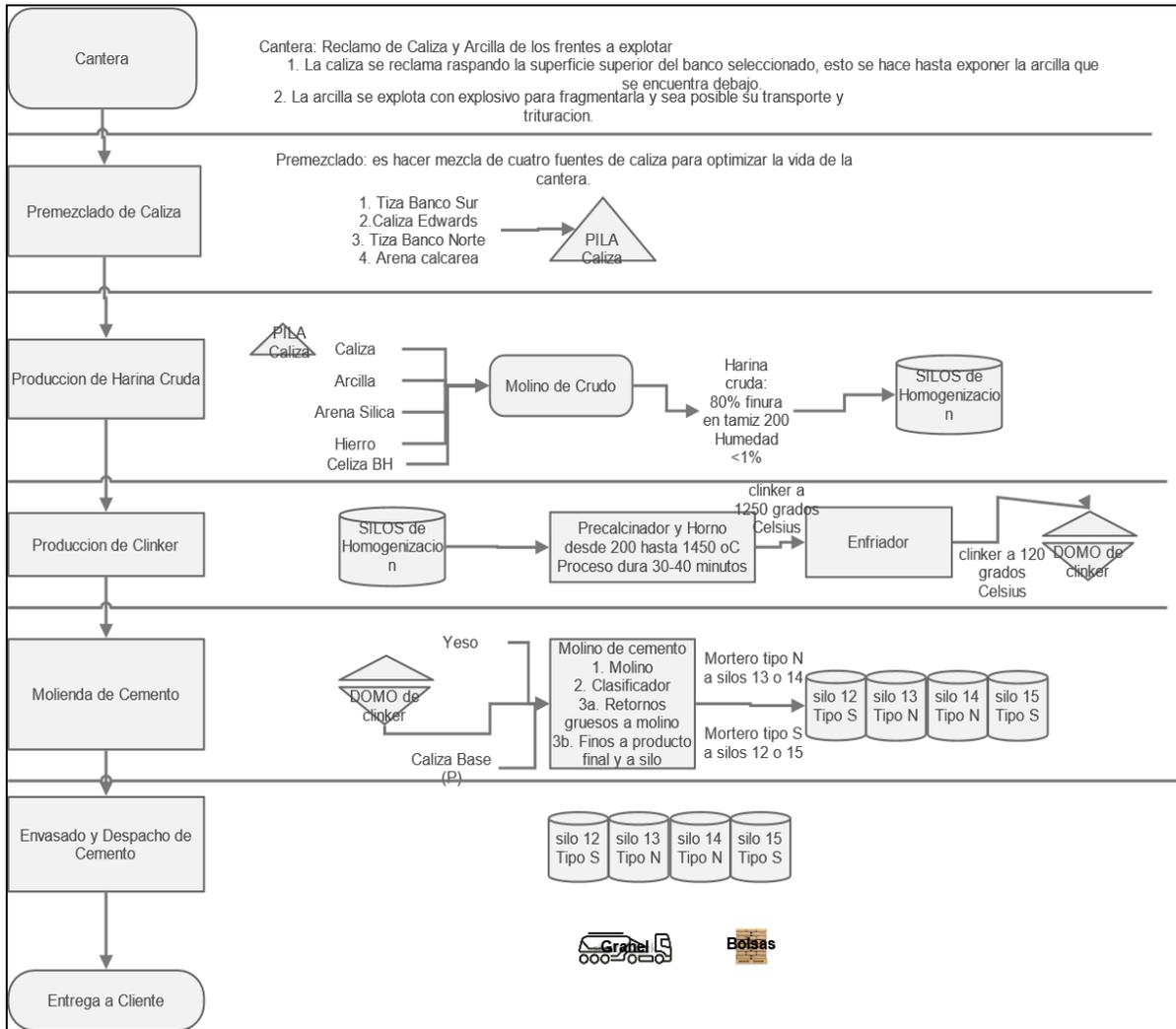
- Explotación de piedra caliza y arcilla

En el caso de nuestra planta, tenemos una cantera en propiedad de la cual obtenemos tanto la fuente de contenido calcáreo, así como la arcilla llamada *shale*.

- Preparación de la mezcla de crudo
- Producción de harina cruda
- Producción de Clinker
- Molienda de Cemento
- Envasado y despacho

En la figura 2 se expone un diagrama esquemático del proceso elaboración de Mortero.

Figura 2. Representación esquemática del proceso de producción y distribución de cementos Mortero en Alamo Cement



1.4 Descripción de la problemática percibida que justifica la intervención.

Color es la apreciación visual del reflejo de la luz en una superficie, que después se dirige a los ojos pasando por nuestra cornea, pupila y cristalino para llegar a la retina donde la información es colectada y enviada al cerebro por conducto del nervio óptico, obteniendo así una respuesta; en este contexto es una cualidad o atributo que define el objeto observado, y desde un punto de vista estadístico el color es una medición de tipo nominal no mostrando un orden particular.

Existen instrumentos espectrofotométricos que pueden traducir color a parámetros de escala en los cuales se logra caracterizar con más información este atributo.

Ejemplos son:

CIELAB (L*a*b)

RGB

CIE XYZ

Todos los instrumentos trabajan con modelos definidos, pero en concreto dan una medición de parámetros que se traducen en números medibles que dependerán del color del objeto.

El problema que veo es que con el sistema adoptado de calidad no es la medición de color en sí, sino que estamos intentando controlar la consistencia del producto basado en un número que al cliente no le va a interesar saber dado que tiene su propia interpretación visual, y verá diferentes las cosas en mayor o menor proporción, pues no existen estándares para cementos morteros.

Este “problema de control” provoca variabilidad en las características críticas de desempeño como lo son la resistencia y la rapidez de fraguado del producto, la inclusión de aire y la retención de agua, y la contradicción evidente es que ni el color es consistente.

Este problema de control está saliendo costoso pues al generar dicha variabilidad se pierde la oportunidad de tener un proceso económico y un producto consistente en desempeño.

1.5 Validación de las condiciones del escenario

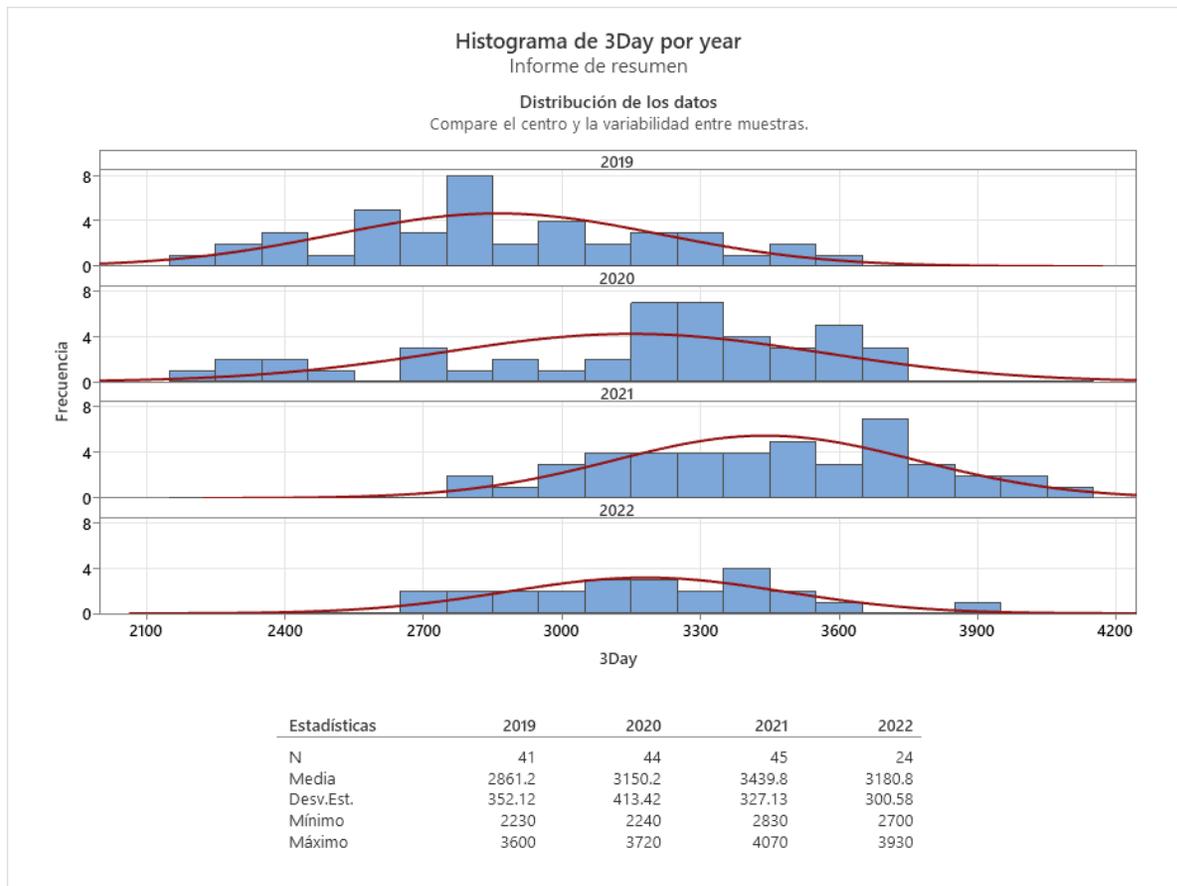
Se ha establecido que hay una oportunidad de mejora del proceso productivo para ambos tipos de mortero, buscando mejorar la variación de las resistencias y la consistencia en color; también que esto depende en cierta manera de las proporciones de materiales conformando el producto final y posiblemente en cierto grado de la finura obtenida en la elaboración.

Calidad

Actualmente se presentan suficientes inconsistencias tanto en el proceso productivo, el control de los parámetros operativos y la calidad final de los productos.

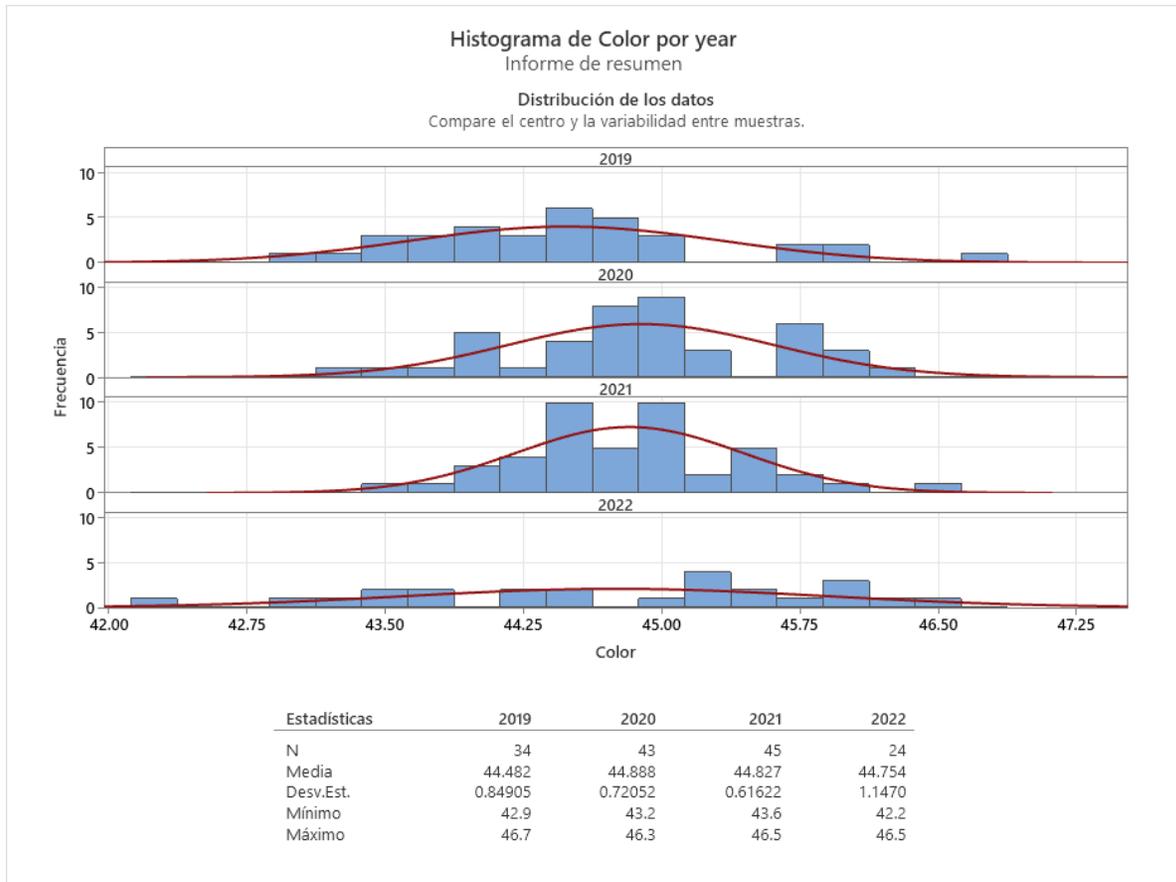
Evaluando los pasados 4 años se denota la variación de color y resistencia en ambos morteros, no logrando consistencia en la producción y el incumplimiento de los objetivos de calidad planteados.

Figura 3. Mortero Tipo S - Histogramas de Resistencia a 3 Días, por año – 2019-2022



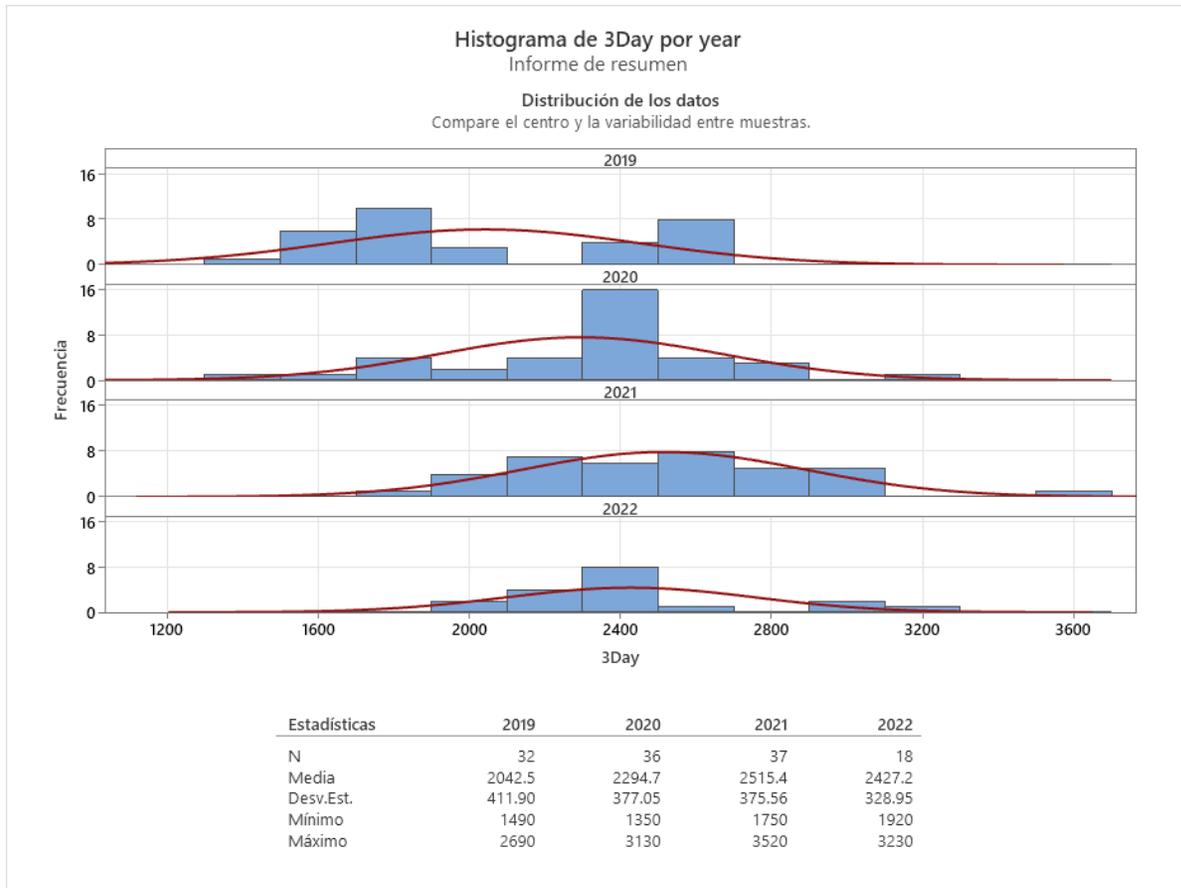
En el caso del Mortero tipo S, los histogramas de distribución anual de resistencias a 3 días (Ver fig. 3; unidades en PSI) muestran coeficientes de variación del orden de 9% a 12%, siendo adecuado un valor no mayor de 5%, además de que la mayoría de los resultados han estado por encima del objetivo, ofreciendo una oportunidad de mejorar el proceso y el producto.

Figura 4. Mortero Tipo S - Histogramas de Color por año – 2019-2022



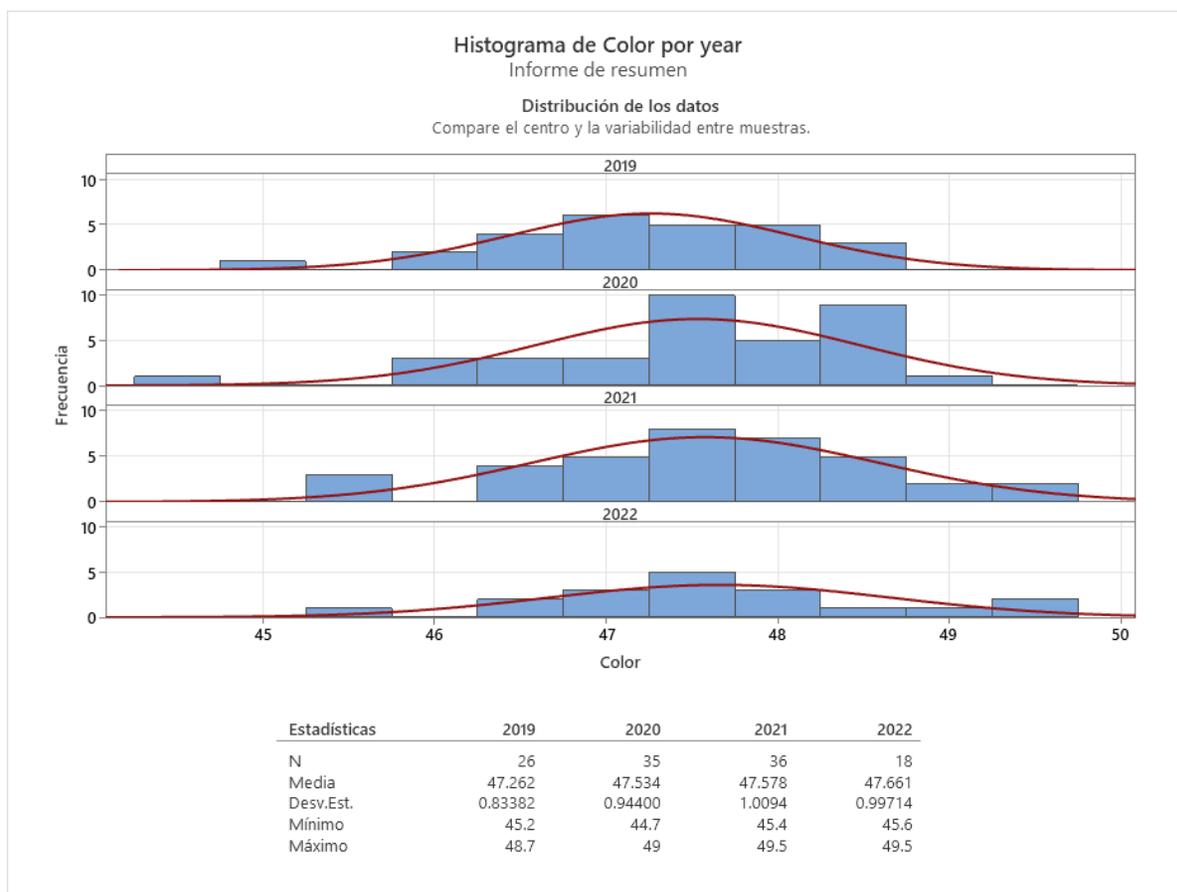
(Fig. 4) En el caso del color del mortero tipo S, no hay una variación alta intrínseca, debido a que es el parámetro que se controla, de cierta manera forzado a tratar de cumplir su valor objetivo, siendo evidente que en la mayoría de los compositos se logran valores por encima de este; al mismo tiempo, y dado que para controlarlo se modifica la cantidad de caliza como factor principal, resulta en un producto cuya resistencia variará.

Figura 5. Histogramas de Resistencia a 3 Días, separados por año- Mortero Tipo N



En el caso del Mortero Tipo N, los histogramas de distribución anual de resistencias a 3 días muestran altos coeficientes de variación entre 13 y 20% (Ver Fig.5), esto debido a que la media es menor que la del Tipo S, así también la mayoría de los resultados de resistencia han estado encima del objetivo, e igualmente ofrece una oportunidad de mejorar el proceso y el producto.

Figura 6. Histogramas de Color por año - Mortero Tipo N



(Fig. 6) En cuanto a color, igualmente no hay una alta variación sin embargo se han obtenido lotes de producción que ha estado debajo o muy por arriba del objetivo especificado, esto posiblemente ocasionado por la corta duración de las campanas de tipo N, no pudiendo lograr estabilizar durante la corrida.

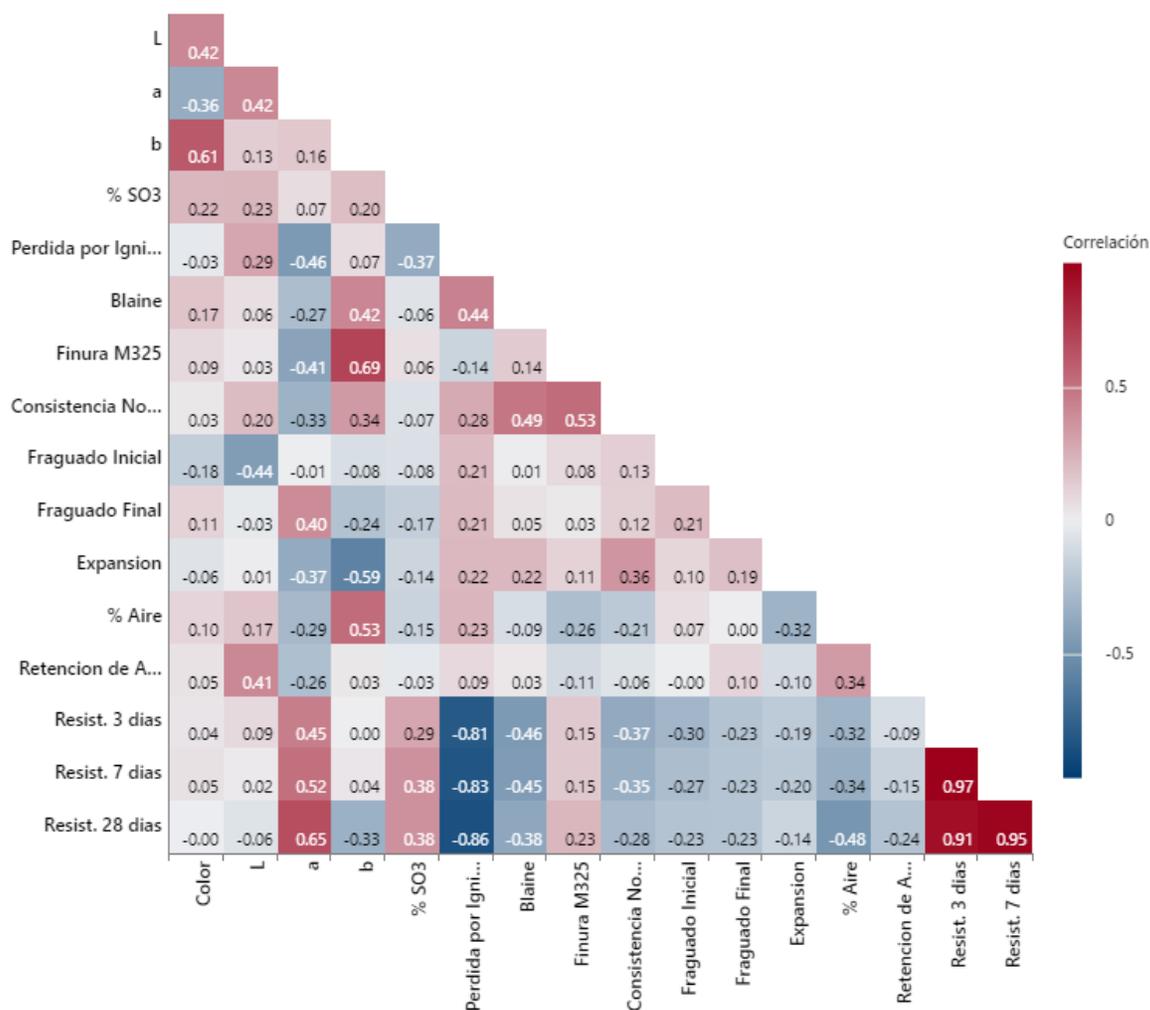
Costos

El costo de operación es alto, dado que por finura especificada se obtiene una baja producción y en consecuencia un mayor consumo energético.

Hay otros costos de oportunidad como, el óptimo uso de silos y la presentación del saco.

Para poder demostrar estas relaciones se presenta a continuación un estudio de correlación de variables para cada producto, basado factores de correlación Pearson.

Figura 7. Correlaciones entre parámetros de prueba en Mortero Tipo S – Información de pruebas de calidad en compositos

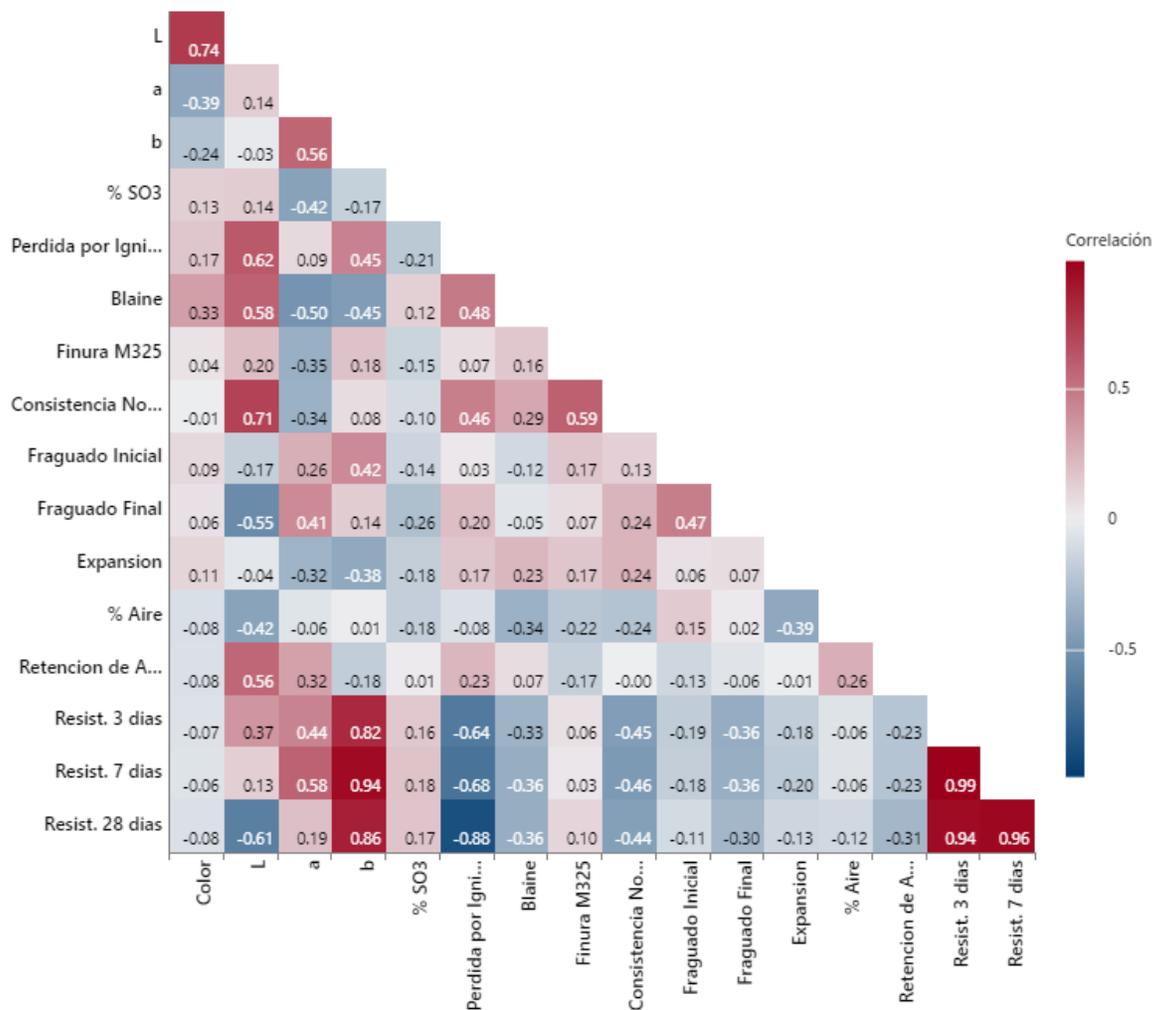


Color – No se encuentra ninguna correlación fuerte con los demás parámetros de prueba, hay solamente correlaciones débiles con Blaine, % SO3 y fraguado inicial, pero no con resistencias.

L - No correlación con las resistencias, correlación negativa moderada con fraguado inicial, y correlaciones débiles con perdida por ignición, % aire y consistencia normal.

Resistencias – Correlación fuerte y negativa con la perdida por ignición (Fig. 7), con un índice de Pearson de -0.81.

Figura 8. Correlaciones entre parámetros de pruebas en Mortero Tipo N – Información de pruebas de calidad en compositos



En ambos productos se observa lo siguiente.

1. Hay una fuerte e inversa correlación entre el desarrollo de resistencias y la perdida por ignición.
2. Existe también una correlación negativa entre el desarrollo de resistencias y el Blaine, esto en cierta forma ratificaría el punto 1.
3. El color no tiene correlación con la perdida por ignición.
4. El parámetro L aparentemente muestra correlación con la perdida por ignición, pero la cantidad de datos no es suficiente para dar confiabilidad a la aseveración.

1.6 Análisis del contexto y el objetivo de estudio

El proceso productivo de Morteros de albañilería es en varios aspectos ineficiente y costoso:

Punto de vista de Calidad

En las tablas 2 y 3 se muestra información histórica que evidencia la alta variación en Resistencias, pero mejor desempeño en el Color.

Tabla 2. Mortero Tipo S- Pruebas - Promedio and Coeficiente de Variación - 2019 a 2021

Mortero Tipo S Variable	Promedio			Coeficiente de Variación		
	2019	2020	2021	2019	2020	2021
Color	44.48	44.89	44.83	1.91	1.61	1.37
Resist. 3 Dias	2861	3150	3440	9.2	9.9	9.1
Perdida Por Ignicion	16.33	15.18	13.68	12.31	13.12	9.51

Tabla 3. Mortero Tipo N- Pruebas - Promedio and Coeficiente de Variación - 2019 a 2021

Mortero Tipo N Variable	Promedio			Coeficiente de Variación		
	2019	2020	2021	2019	2020	2021
Color	45.69	46.08	46.05	3.55	3.38	3.47
Resist. 3 Dias	2502	2765	3023	13.6	12.7	14.1
Perdida Por Ignicion	17.95	16.51	15.27	22.22	21.07	19.15

El reto está en reducir la variación y de ahí mejorar la productividad del proceso, y así lograr beneficios financieros.

Punto de vista operativo

En resumen, la producción del molino ha sido baja históricamente y en consecuencia se consume mucha más energía por tonelada que en el Tipo IL por poner un ejemplo (ver Tabla 4).

Tabla 4. Producción horaria y consumo energético por producto- Promedio anual - 2020 a 2021

Producto	Toneladas por Hora		KWh/ton	
	2020	2021	2020	2021
Mortero N	43	43	79	73
Mortero S	46	46	80	76
Cemento Portland Tipo III	48	52	71	63
Cemento Portland Tipo IL	93	102	36	33

Punto de vista estratégico

La producción anual de Mortero históricamente se mantiene sin aumento considerable (Ver Tabla 5) y se estiman 93 días por año para producirlo, y como normalmente se utiliza el molino 1 es aproximadamente 30% del tiempo productivo.

Tabla 5. *Volúmenes anuales por producto - 2020 a 2022*

Producto	2020 (Miles de ton.)	2021 (Miles de ton.)	Proyectado 2022
Mortero N	29	30	33
Mortero S	71	67	74
Cemento Portland Tipo III	160	149	155
Cemento Portland Tipo IL	17	50	545

El otro problema es que se utilizan dos silos para almacenar Tipo N y dos silos para almacenar Tipo S, pero el movimiento de Tipo N es más lento, lo que implica que normalmente se tiene un silo lleno cada vez que se programan las campañas de producción de Morteros, afectando su frecuencia.

Punto de vista financiero

Se pueden obtener beneficios de dos formas:

1. Reducir los costos variables sustituyendo Clinker por Caliza.
2. Reducir los costos variables produciendo más toneladas por hora.

Pero primero es mejorar la variación del proceso.

1.7 Análisis inicial de la problemática

Como se comentó al inicio de este documento, la percepción general que se tiene acerca del color es el atributo que el cliente más valora, quedando las resistencias y fraguado en segundo término.

Las características de desempeño dependen de la composición de materiales y principalmente de la cantidad de Clinker.

El color del Mortero es controlado con la adición de caliza, añadiendo y sustituyendo por Clinker, y agrega variación a las características de desempeño.

1.8 Objetivos de Investigación

1. Definir, medir y analizar como el sistema de control de color trabaja para así encontrar posibles nuevas prácticas que no descontrolen otras variables de desempeño del producto.
2. Medir, analizar el efecto de principalmente la finura y el tonelaje del molino en el desempeño de color y resistencia.
3. Mejorar el desempeño de color y resistencia en función de la interacción de los componentes de la mezcla, la finura y el tonelaje del molino.
4. En consecuencia, la mejora de indicadores de negocio, con el costo de producto, energía, así también la presentación del producto.

1.9 Delimitación de la Investigación

El alcance de influencia es sobre las actuales proporciones de materiales para cada cemento Mortero, el proceso de producción y sus parámetros de control, buscando primero comprender que efecto se presenta con ciertos cambios y de ser posible aprovechar para optimizar el producto.

CAPITULO 2 - MARCO CONCEPTUAL O REFERENCIA

2 Marco conceptual o de referencia

El estado actual en la cual se desarrolla este proceso está regido por varias limitaciones, de las cuales algunos son paradigmas no sustentados en información concreta; y a continuación se enumeran los supuestos que darán forma a las hipótesis por responder.

1. La consistencia en el color es buena mas no excelente, se ha logrado variando las entradas del proceso, principalmente el uso de caliza.
2. Las características de resistencia, fraguado y otras son importantes, pero, en segundo término, su variación es alta y los resultados son inconsistentes.
3. El control de color se hace con el porcentaje de caliza a añadir, aun así, la practica presenta oportunidad de mejorar.

2.1 Estado de la cuestión

El proceso de producción de cementos morteros ha sido sobre controlado para mantener control en el Color, las preguntas son:

¿Cuál es el comportamiento del color variando la mezcla de materiales?

¿Qué tanto cambia el por unidad de caliza?

¿Qué tanto se ve afectado el color por cambios operacionales?

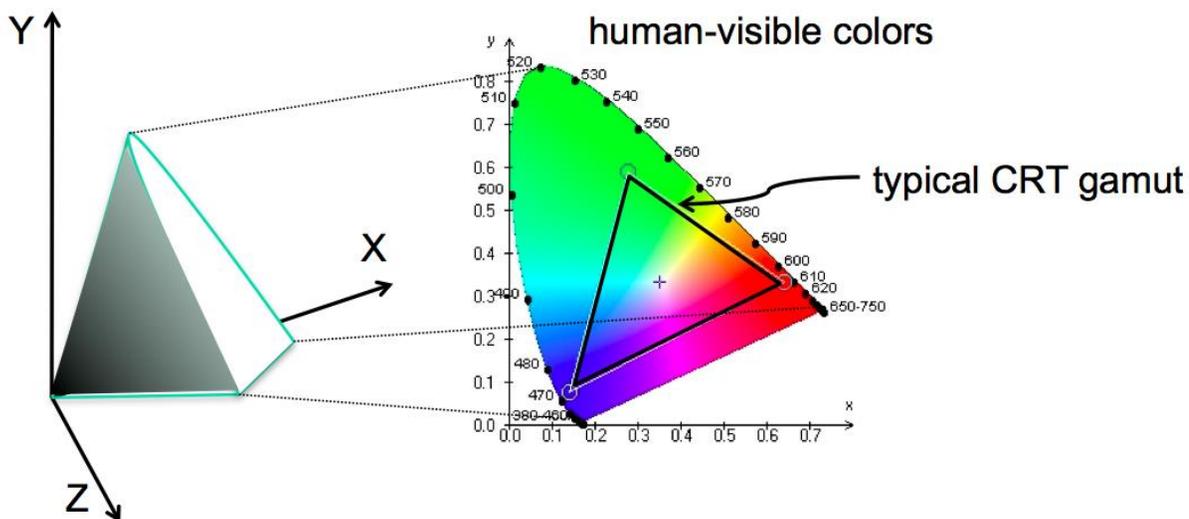
Esas preguntas serán parte de las hipótesis a comprobar en la etapa de análisis con los experimentos de laboratorio e industriales.

2.2 Conceptos y enfoques teóricos relacionados

2.2.1 Teoría de color

Por definición, color es la percepción visual del reflejo de la luz que ilumina las superficies y rebota en las células cono de nuestra retina.

Figura 9. Espectro de luz visible



[This Photo](#) by Unknown Author is licensed under [CC BY-SA](#)

Existen métodos de medición de color que analizan propiedades reflectivas o de transmitancia, esto a partir de la interacción de la luz con el material a medir; pero en orden para obtener mediciones se tiene que considerar que tan opaco, translucido o transparente es el material.

Por muchos años el método utilizado por Alamo Cement para medir el color de sus productos es por reflectancia, utilizando un instrumento de la marca Photovolt (Figura 10), que básicamente se calibra en el canal verde con un estándar cuyo número es 73.8, este estándar es de color blanco.

Figura 10. Fotografía mostrando el instrumento Photovolt. Fuente: www.photovolt.com



Se cuenta también con un instrumento de la marca Hunterlab y que utiliza la escala de color en base a los parámetros CIE L, a y b, y el concepto se basa en la claridad y las dimensiones de los oponentes de color

L- denota una escala que va desde negro (cero) a completamente blanco (100).

a – denota el grado de orientación del color entre opuestos rojos y verdes, si este valor es positivo entonces tiende a más rojo, si es negativo entonces tendera a más verde.

b- muestra el grado de orientación del color entre opuestos amarillos y azules, si este valor es positivo entonces tiende a más amarillo, si es negativo entonces tendera a más azul.

La ventaja de este método es que al mismo tiempo se puede calcular la diferencia Delta E que indica que tan diferente el color es comparado con el color ideal (ver tabla 6).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

Tabla 6. *Criterios para evaluar el numero obtenido Delta E*

Delta E	Percepción
Menor o igual a 1	No perceptible por el ojo humano
1-2	Perceptible observando con detalle
2-10	Perceptible a simple vista
11-49	Colores son mas similares que diferentes
100	Colores son exactamente opuestos

2.2.2 Resistencia de un cemento

Tenemos que desde hace 200 años se inició la producción industrial de cementos, inicialmente haciendo cementos portland con cierta alta resistencia, evolucionando al punto de especializar la producción, y en un momento de la historia comenzar la producción en masa de cementos morteros de albañilería

Los morteros de albañilería son usados en trabajos que no requieren resistencia a esfuerzos mecánicos de carga, y principalmente en hacer acabados de muros y paredes, así como en la instalación de ladrillo de fachada., pero es esencial aun la presencia de una materia prima importante en buena cantidad, el Clinker.

2.2.3 Materiales

Clinker – Es el producto del horno rotatorio, y está conformado por fases mineralógicas características que al molerse finamente reaccionan rápidamente con agua, transformándose en una pasta dura que al secarse ofrece alta resistencia.

Yeso - O sulfato de calcio di hidratado, es encontrado en yacimientos naturales o producido mediante la desulfuración de gases de chimenea en las grandes plantas generadoras de electricidad que queman combustibles sólidos como carbón o coque de petróleo; es añadido con el Clinker al molino de cemento y su función principal es interactuar con el Clinker cuando reaccionan con el agua para retardar las reacciones de hidratación, regular la generación de calor de dichas reacciones y alargar el fraguado para que el cemento sea apropiadamente aplicado, también tiene propiedades coadyuvantes para facilitar la molienda.

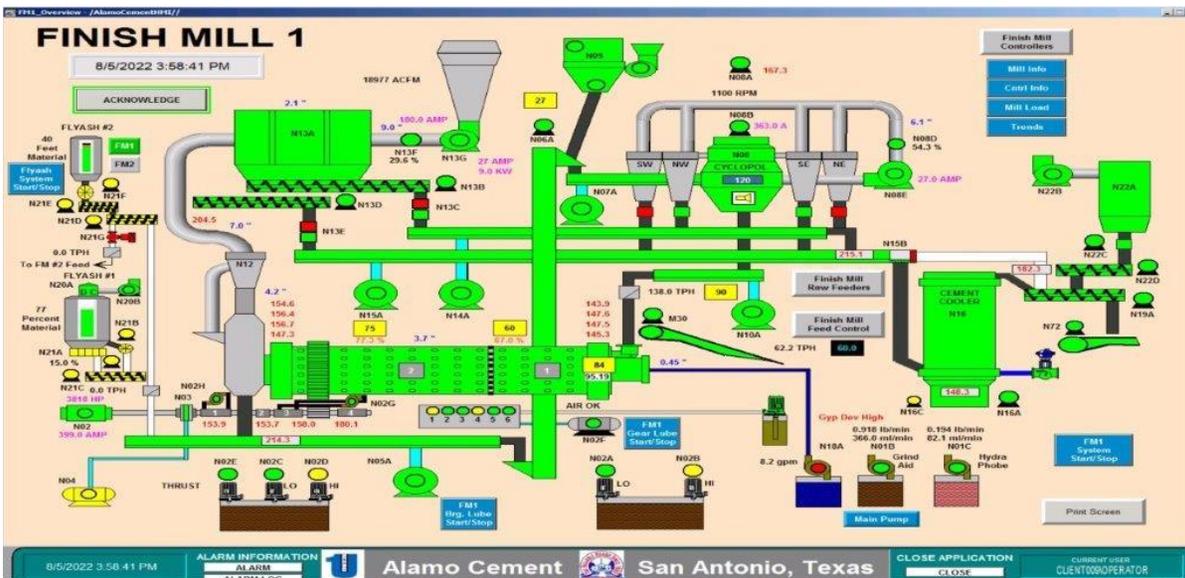
Caliza – La caliza es un material inerte que funciona solamente como sustituto de Clinker en el cemento, y típicamente no tiene efectos sobre resistencia sino al contrario, se espera que la resistencia sea reducida con más adición, y dada su facilidad de molienda puede contribuir más en el tono del cemento.

2.2.4 Proceso de molienda de cemento

El proceso de molienda está conformado por alimentadores que pesan la cantidad añadida de cada material en la receta, todos juntos son transportados hacia la entrada del molino de bolas, que consta de dos cámaras, la primera que cuenta con una carga gruesa donde los tamaños de bola fluctúan entre 5 y 9 cm y llenan aproximadamente la tercera parte de esa sección, su función es la de triturar los materiales por impacto hasta ser suficientemente finos para pasar a la segunda cámara, ahí ocurre una molienda fina, donde las bolas, con tamaños entre 3 y 4 cm, se mueven oscilatoriamente para moler los materiales hasta lograr una fina distribución de partículas; dos partes importantes que necesitan suceder en este punto son, el mantener la temperatura en control para prevenir excesiva deshidratación del yeso, esto se logra añadiendo agua rociada en balance con la humedad intrínseca de los materiales alimentados y con la ventilación, y el añadir aditivos de molienda para mejorar la efectividad del proceso y mantener la limpieza de los cuerpos moledores.

Proceso de molienda (Figura 11).

Figura 11. Esquema de pantalla inicial de control de Molino 1 de Alamo Cement.



2.2.5 Diseño de mezclas

Según Cornell (1990. Pg. 3), “en los experimentos de mezclas, las variables independientes o controlables son cantidades proporcionadas de la mezcla. Las proporciones de los componentes son no negativas y si son expresadas en fracciones, entonces su suma es igual a uno”.

“Sea “q” el número de componentes, y x_i la proporción del i-esimo componente en la mezcla, entonces:

$$x_i > 0, i = 1, 2, \dots, q \quad (\text{Ec. 2.2.1})$$

Y

$$\sum_{i=1}^q x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1.0 \quad (\text{Ec. 2.2.2})$$

Problema general de la mezcla

“En el problema general de la mezcla (Cornell, 1990, pg.3-5) la respuesta medida depende solamente de las proporciones relativas de los componentes presentes en la mezcla y no depende de la cantidad total de la mezcla”.

Volviendo a la ecuación donde la suma de componentes no negativos es la unidad, esto significa que las proporciones x_i son variables delimitadas, o sea que, si una proporción de un componente se incrementa, la proporción correspondiente en por lo menos uno de los demás componentes debe decrecer.

El sistema coordenado del problema de mezcla se llama sistema coordenado Simplex. Como 3 componentes las coordenadas pueden ser graficadas en papel grafico triangular.

En el presente trabajo se definen los componentes:

- 1- Clinker
- 2- Yeso
- 3- Caliza

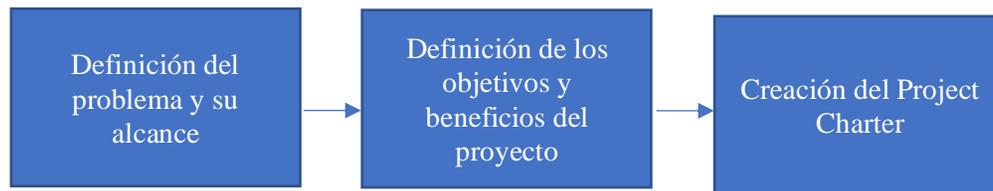
Las respuestas por modelar para la etapa de pruebas de laboratorio son Color, L, a, b, siendo Color y L las variables que directamente dictan la tonalidad de la mezcla de materiales.

2.2.6 Metodología DMAIC – Seis Sigma

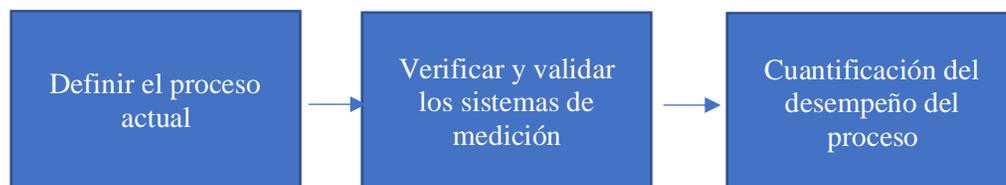
Seis Sigma es una filosofía de mejora de procesos que evoluciono del concepto de mejora continua en los años 80s y desde entonces ha sido utilizada por empresas lideres para poder capturar conocimiento de los procesos y así mejorar su desempeño logrando así una calidad mejor de productos y servicios que satisfaga las necesidades de los clientes.

La metodología Seis Sigma está conformada por 5 etapas. (BMGI, Lean Six Sigma Roadmap)

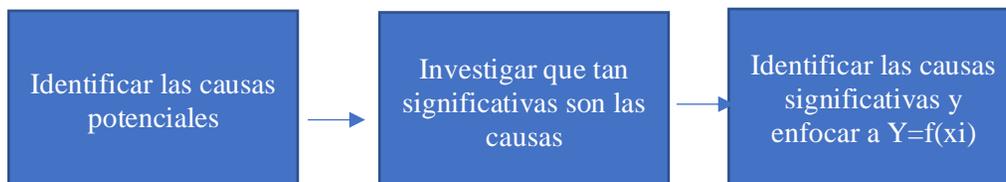
1. Definición del problema de calidad – Pasos importantes



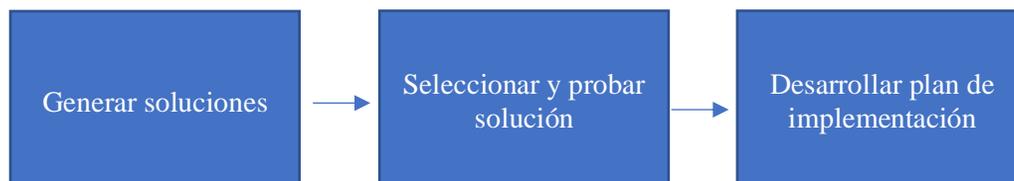
2. Medición y definición de línea base



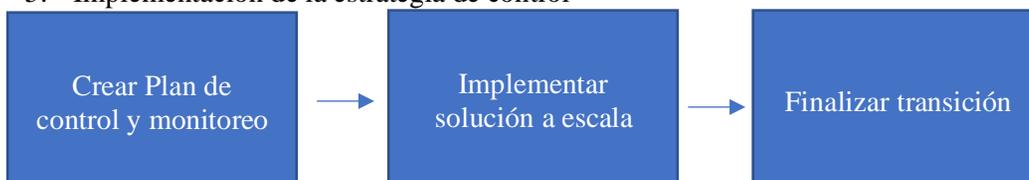
3. Análisis y desarrollo de relaciones de causa – efecto



4. Implementación de mejoras propuestas



5. Implementación de la estrategia de control



**CAPITULO 3 – MARCO
METODOLÓGICO DE LA
INVESTIGACIÓN**

3 Marco Metodológico de la investigación

3.1 Metodología DMAIC- Seis Sigma



3.1.1 Definición del problema de calidad y planeación del trabajo

Las actividades que en general se realiza en esta etapa son:

- Identificar la oportunidad de mejora
- Documentar el proceso
- Voz del cliente
- Definir métricas y defectos
- Establecer la línea base preliminar y el nivel potencial de mejora.
- Desarrollar las declaraciones de problema y el objetivo
- Estimar beneficios financieros
- Confirmar la metodología de mejora
- Definir roles y responsabilidades del proyecto
- Identificar riesgos
- Establecer el cronograma del proyecto
- Plan de comunicación

3.1.2 Medición y definición de línea base

En esta etapa se define la línea base a como se encuentra utilizando herramientas cuantitativas y de mapeo de procesos, a continuación, se listan las actividades generales:

- Crear un mapa de flujo de valor
- Crear el diagrama de flujo de proceso
- Hacer un evento Kaizen de ser posible para mejorar el proceso.
- Analizar los sistemas de medición
- Mejorar los sistemas de medición de ser posible
- Colectar datos en las variables de respuesta

- Examinar la estabilidad del proceso
- Realizar un análisis de la capacidad del proceso

3.1.3 Análisis y desarrollo de relaciones de causa – efecto

Durante esta etapa el objetivo es identificar las variables independientes significativas y el análisis de desperdicios y pérdidas:

- Desarrollar una lista de causas potenciales
- Recortar la lista
- Colectar datos en las potenciales causas
- Realizar análisis grafico
- Realizar análisis estadístico
- Conducir análisis de pérdidas
- Evaluar el impacto de las X sobre las variables de respuesta
- Establecer el modelo preliminar $Y=f(X's)$

3.1.4 Implementación de las mejoras propuestas

El objetivo es validar que la solución potencial dará el resultado deseado y desarrollar el plan de implementación:

- Generar soluciones potenciales
- Crear el mapa de flujo de valor futuro
- Evaluar la potencial solución
- Establecer el modelo $Y=f(X's)$
- Desarrollar el plan de implementación

3.1.5 Implementación de la estrategia de control

En esta etapa se crea el plan de control, se implementa la solución y se hace la transición del proyecto al dueño del proceso.

- Probar el proceso contra fallas
- Determinar las variables a controlar y los métodos
- Completar el análisis del sistema de medición de variables críticas, determinar las variables de respuesta a monitorear y el reporte de métricas.
- Desarrollar y revisar la documentación del proceso

- Implementar solución
- Evaluar implementación
- Desarrollar el plan de transición
- Dar a el dueño del proceso
- Capturar las lecciones aprendidas
- Escribir reporte final y presentación
- Celebrar los resultados obtenidos

CAPITULO 4 – ETAPA DE DEFINICIÓN

4 Definición del Problema de Calidad



4.1 Introducción

El propósito de esta etapa es el de definir adecuadamente el proyecto para el logro de los siguientes objetivos (Brue, 2005, pg. 13):

1. Identificar los problemas importantes en el proceso
2. Seleccionar un proyecto para combatir un problema y definir parámetros.
3. Determinar los factores vitales a ser probados por la metodología DMAIC.

4.2 Voz del cliente

De acuerdo con Munro, Ramu, Zrimyak (2015, pg. 28-29), uno de los objetivos clave de una organización es el conocimiento del cliente y del mercado.

Voz del cliente es el proceso de capturar información relacionada con lo que los usuarios finales requieren, en nuestro caso eso ha dependido de nuestra relación con el área de ventas y su retroalimentación.

Históricamente se tiene un comité de consejo de calidad, conformado por miembros de la planta productiva, del área de ventas, y de las funciones corporativas de operaciones, manufactura e ingeniería y calidad.

Anualmente se revisan los objetivos internos de calidad por producto donde el comité decide cambios a parámetros de calidad basado en los resultados de pruebas, así como la retroalimentación por el responsable de ventas, que es el que típicamente tiene contacto directo con los usuarios finales.

En el caso de los productos mortero, típicamente se han hecho cambios en los objetivos de resistencia, pero han quedado siempre en segundo término al momento de controlar la calidad dado que el producto es principalmente apreciado por las tonalidades que tienen los Morteros.

Con anterioridad a 2022, los objetivos internos incluían los límites de especificación tanto superior como inferior, pero se simplifico este año por mantener una flexibilidad mayor en cumplimiento.

A continuación, se presentan los Objetivos Internos de Calidad para 2022, en las figuras 12 y 13 se observan cuáles son los parámetros de seguimiento de calidad, sus objetivos y límites.

Figura 12. *Objetivos internos de calidad para Mortero Tipo S, 2022.*

**Internal Quality Objectives
Alamo Cement Plant**

Product: ASTM C91Type S Masonry

	ASTM Spec. Min	Shipping Minimum	Target	Shipping Maximum	ASTM Spec. Max
<u>Physical Requirements</u>					
3-day Strength, PSI		2400	2900		
7-day Strength, PSI	1300		3400		
28-day, Strength, PSI	2100		4100		
Initial Gilmore, min	120	135	165	195	420
Air content, %	8	8	11	14	21
Color (L value)			70		
<u>Chemical Requirements</u>					
SO ₃ , %			2.7		

Approvals

Senior V.P., Operations

QC Manager

Sr. V.P., Manufacturing Services

Production Manager

Sales Manager

Plant Manager

Corporate Quality

Effective Date: March 25, 2022

Figura 13. *Objetivos internos de calidad para Mortero Tipo N, 2022.*

Internal Quality Objectives

Alamo Cement Plant

Product: ASTM C91Type N Masonry

	ASTM Spec. Min	Shipping Minimum	Target	Shipping Maximum	ASTM Spec. Max
<u>Physical Requirements</u>					
3-day Strength, PSI		1500	2000		
7-day Strength, PSI	500		2500		
28-day, Strength, PSI	900		3000		
Initial Gilmore, min	120	135	165	195	420
Air content, %	8	8	13	18	21
Color (L value)			72		
<u>Chemical Requirements</u>					
SO ₃ , %			2.2		

Approvals

QC Manager

Production Manager

Plant Manager

Senior V.P., Operations

Sr. V.P., Manufacturing Services

Sales Manager

Corporate Quality

Effective Date: March 25, 2022

Antes de 2022, los objetivos de resistencia estaban más bien relacionados a rangos de especificación, y los resultados de pruebas muestran un incumplimiento de esas especificaciones de manera frecuente.

A continuación, se presentan las especificaciones de resistencia que fueron vigentes hasta Marzo 2022 (ver tabla 7).

Tabla 7. *Objetivos de resistencias para cementos Mortero de Alamo Cement, 2018 -2021.*

	Mortero Tipo N			Mortero Tipo S		
	LSL	Target	USL	LSL	Target	USL
3-day, psi	1000	1700	2400	1800	2400	3000
7-day, psi	1400	2100	2800	2400	2900	3400
28-day, psi	1900	2500	3100	2900	3500	4100

4.3 Competencia

El alcance de la venta de nuestros productos mortero es en la zona de San Antonio Texas y todo el Valle de Texas.

Los principales competidores son:

Capitol Cement – Tipos N y S

Texas Lehigh Cement – Tipos N y S

Martin Marietta – Tipos N y S – Actualmente no se cuenta con información competitiva.

Y a continuación se muestra una tabla comparativa de Alamo Cement con cementos morteros de las compañías Capitol Cement y Texas Lehigh Cement.

Tabla 8. Comparativo de desempeño con los productos de la competencia local, 2022

Compañía	Capitol	Texas	Alamo	Capitol	Texas	Alamo	Especificaciones ASTM	
	Cement	Lehigh	Cement	Cement	Lehigh	Cement	C91	
Producto	N	N	N	S	S	S	Mínima	Máxima
% Aire	16	18.8	15.6	16	17.5	12.1	8	*21/19*
Finura (Retenido en Malla 325)	0.4	3	5.6	0.4	3	4.9	-	24
Expansión de Autoclave	0.01	0.1	0.004	0.01	0.1	0.004	-	1
Retención de Agua	84	82	77.67	82	82	76.33	70	-
Fraguado Inicial - Gilmore	160	170	155	160	170	158	90	-
Fraguado Final - Gilmore	285	320	287	285	320	258	-	1000
Resistencia a 7 días	2490	1770	2670	2810	1920	3727	*500/1300*	-
Resistencia a 28 días	2760	2610	3615	3110	2910	4872	*900/2100*	-
Color								
L	74.8	N.D.	72	75	N.D.	70	-	-

N.D. >> No disponible

* Especificación para N/S*

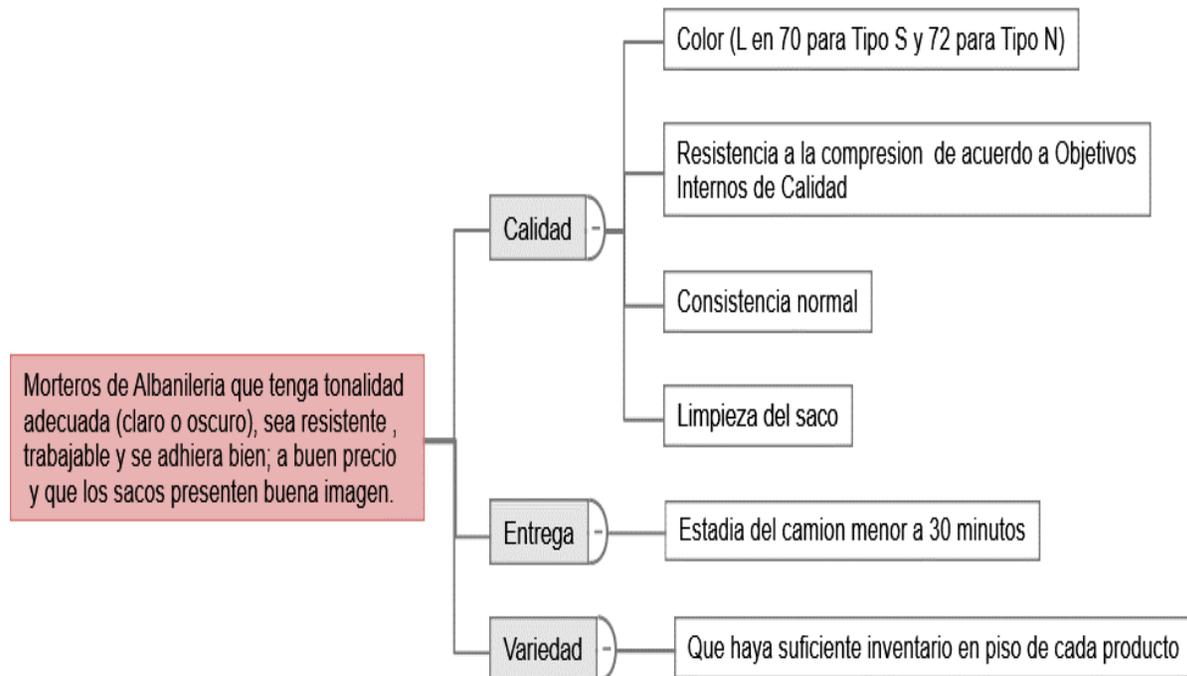
De la tabla 8 se pueden deducir importantes tendencias comparadas con nuestros productos:

1. Los competidores están en principio moliendo más finamente sus productos de acuerdo con los retenidos en malla 325, pero contradictoriamente al mismo tiempo obtienen resistencias inferiores a las nuestras, de esta manera se plantea la hipótesis de que sus recetas contienen menor porcentaje de Clinker.
2. Sin embargo, existe otro factor que evidentemente puede reducir resistencia, y es el % de aire, los competidores producen sus morteros a alto porcentaje de aire, esto se logra utilizando un aditivo de inclusión en el proceso de molienda, y que sirve para mejorar la trabajabilidad del mortero al elaborar las mezclas de construcción.
3. El color no se observa muy diferente, así que partimos que el mercado acepta los diferentes tonos.
4. Como una conclusión útil para mejorar los productos, es que tenemos como fuerza el poder reducir resistencia ya sea por reducción de Clinker, por fineza o con los dos.

4.4 Diagrama de Árbol – Critical To Quality

El diagrama de árbol muestra la dependencia del desempeño de los productos de los parámetros internos de calidad.

Figura 14. Diagrama de árbol mostrando los atributos críticos de calidad de los productos Morteros.



El alcance de este trabajo se va a centrar en los atributos de color y resistencia a la compresión, dado que se busca mejorar el desempeño del mortero contra las especificaciones de los *IQOs* y los requerimientos de la norma estándar *ASTM C 91*.

El problema por resolver es reducir la variación en color y resistencias, controlando las dosificaciones de material, los parámetros de operación que afectan la finura del producto y en consecuencia afectaran los resultados de pruebas del mortero.

4.5 Diagrama SIPOC de las Operaciones – Descripción del proceso.

Este diagrama despliega la interdependencia que existe entre el proceso con los proveedores y clientes, partiendo de los requerimientos del mismo para cubrir al final lo que el usuario final necesita.

Figura 15.Diagrama SIPOC de Alamo Cement.

SIPOC

Nombre de Proyecto:

Mejora de la producción de mortero de albañilería

Preparado por:

Ricardo Rios

Fecha de preparación:

7/15/2022

SIPOC (Suppliers-Inputs- Process-Outputs-Customers)

S			I – Entradas			P	O – Salidas		C
Proveedor	Descripción	Objetivos	Proceso	Descripción	Requerimiento	Clientes			
Superior Sand	Arena silica	%SiO2 > 90% %Humedad<5	1. Cantera 2. Premezclado de caliza 3. Producción de Harina cruda 4. Producción de Clinker 5. Molienda de Cemento 6. Envasado y despacho de Cemento	Cemento tipo IL	Objetivos Internos de Calidad (IQOs)	Ventas			
Boral	Ceniza BH	%Humedad<5		Cemento tipo III	Objetivos Internos de Calidad (IQOs)	Despacho			
TMS/CMC	Cascarilla de Hierro	%Fe2O3 >=90 %Humedad < 5%		Mortero tipo N	Objetivos Internos de Calidad (IQOs)	Usuarios finales			
IMI	Escoria	%Al2O3 <15% / %MgO < 10% %Humedad < 15%		Mortero tipo S	Objetivos Internos de Calidad (IQOs)				
National Gypsum	Yeso natural	% Pureza>=90% %SO3 >= 42 %Humedad< 3							
Boral	Yeso sintético	%SO3>= 42 %Humedad< 25%.							
Alamo Concrete Products	Caliza Base (P)	%CaCO3>90/ %Humedad<5							
	Caliza 1” (P)	%CaCO3>95/ %Humedad<5%							

GCP	Aditivo	LGA 5427
	Aditivo Aire	Hydro/ Tytron
Calidad	Guías de Calidad	Plan diario
Producción	Plan Producción	Plan diario
Despacho	Plan Despacho	Plan diario

4.6 QFD – Casa de la Calidad

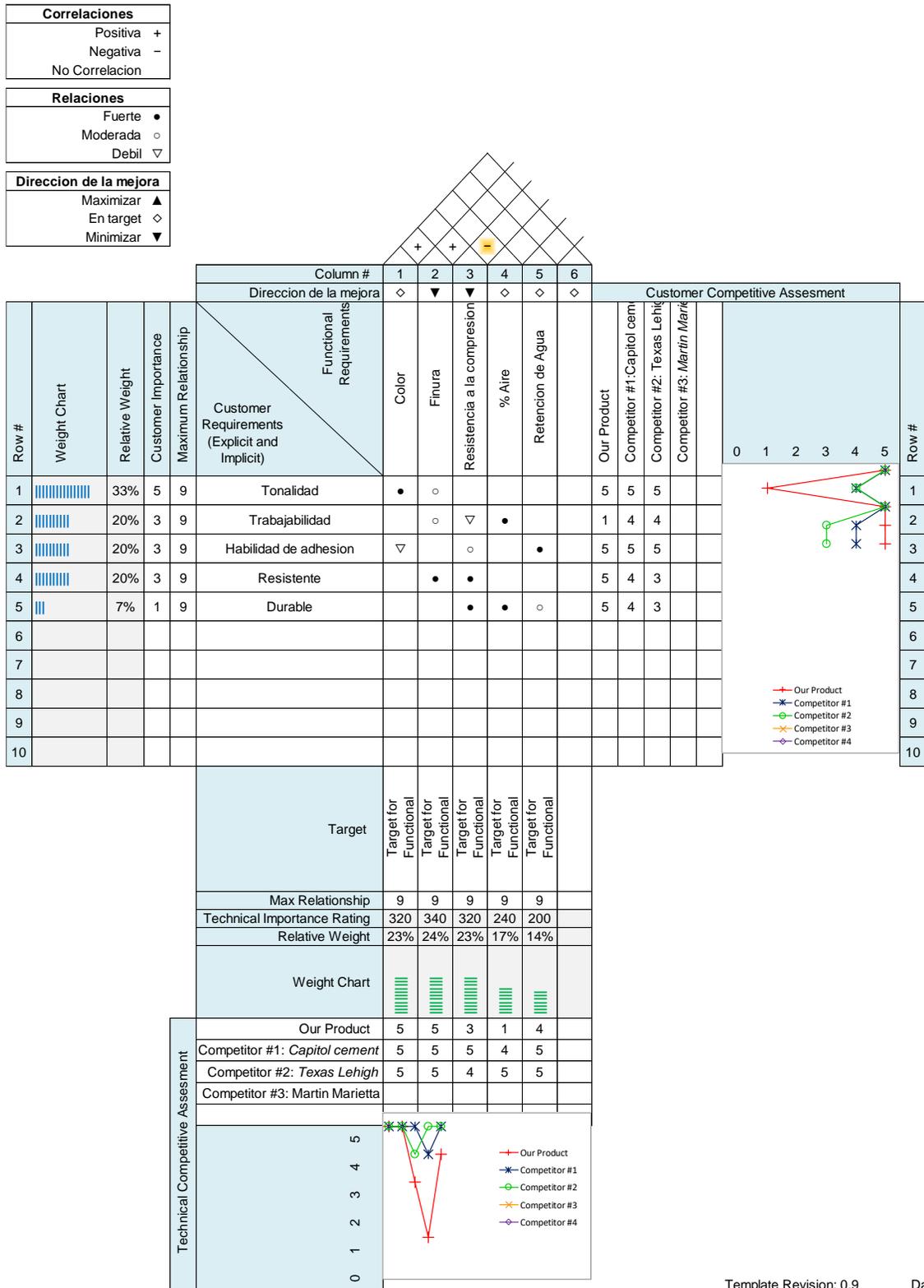
De acuerdo con Bossert (1991, pg. 1), *QFD* es un proceso que provee estructura al ciclo de desarrollo de un producto, comparándolo con una casa, los cimientos son los requerimientos del cliente, las columnas y bóvedas son la matriz de planeación, el segundo piso es los atributos técnicos, el techo es la interrelación entre atributos técnicos y como afectan uno a otro, y, las paredes son la matriz de interrelaciones entre los requerimientos del cliente y las características técnicas.

QFD se enfoca en los requerimientos del cliente, conducido por esa meta y no por innovación en tecnología, así que el esfuerzo es puesto en obtener esa información necesaria para determinar lo que el cliente realmente quiere. (Bossert, 1991, pg. 1)

Mi reflexión de mis 20 años en la industria es que muchas compañías no han llegado a este grado de orientación al cliente, desconozco si la causa es porque el cemento es meramente un “commodity” y por ello se llega al punto de que se adaptara al producto.

Pero, en mi opinión, si se pudiese aplicar herramientas como *QFD* para coleccionar las necesidades de los clientes y de ahí partir para rediseñar los productos ofrecidos, entonces la compañía encontraría una forma de satisfacer a todas las partes de manera más integral.

Figura 16. Casa de la calidad enfocada a los productos Mortero de Alamo Cement.



Template Revision: 0.9

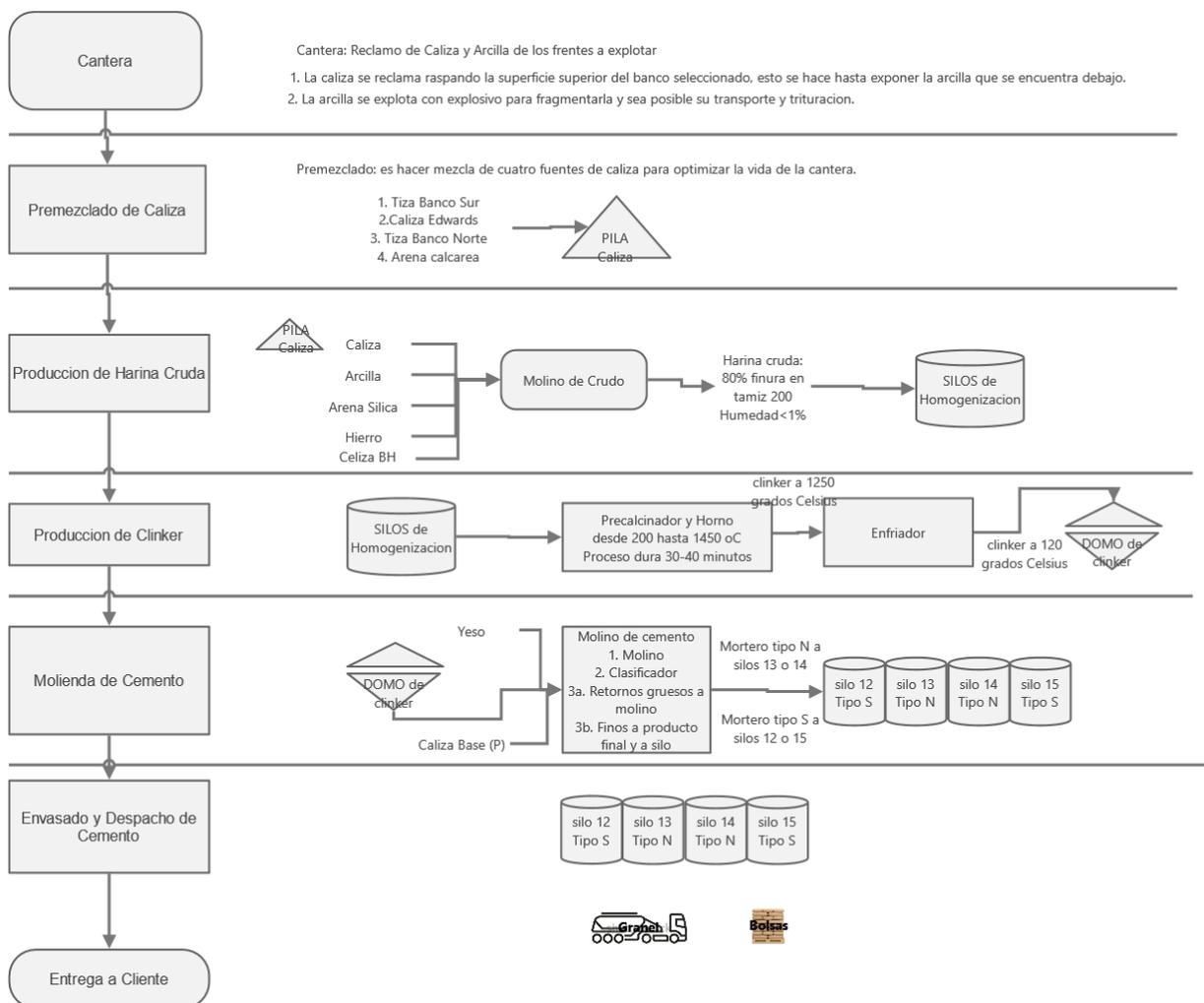
Da

De la casa de la calidad (Figura 16) se puede concluir de nuevo que hay un área de oportunidad de mejora en resistencia, donde hay que encontrar la mezcla de materiales optima y los rangos de control de finura que mantenga el color dentro de límites, y que resulte en un desempeño competitivo.

4.7 Mapa del proceso

Aquí se describe con un poco más a detalle el proceso productivo enfocado a la producción de Morteros tipo N y S.

Figura 17. Diagrama general del proceso de producción de Morteros en Alamo Cement.



4.8 Análisis FODA – fortalezas/ oportunidades/debilidades/ amenazas

Kubiak y Benbow (2007, pg.353) indican que el análisis FODA es una herramienta efectiva para la planeación estratégica de un negocio o proyecto, las fortalezas y debilidades son identificadas de las capacidades internas de una organización, las oportunidades y amenazas, por otra parte, se orientan hacia fuera de la organización, la pregunta general es, ¿Cómo puede la organización apalancar sus fortalezas o mejorar sus debilidades para tomar ventaja de las oportunidades mientras se reducen o eliminan las amenazas? (Kubiak y Benbow, 2007, pg.343).

Al crear un análisis FODA solo sobre la línea de productos de mortero tenemos:

Figura 18. Análisis FODA

Nombre de proyecto:

Mejora de la producción de mortero de albañilería

Preparado por:

Ricardo Rios

Fecha de preparación:

7/24/2022

Matriz FODA

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none">• El mortero se ofrece en dos tonalidades, esto es lo que el cliente aprecia de acuerdo con el departamento de Ventas.• Existe buen conocimiento del producto.• Hay flexibilidad en plan de producción para elaborar el producto.• Cubre un nicho de los sectores de construcción.• Los productos se encuentran a la venta a través de grandes distribuidores.	<ul style="list-style-type: none">• Costos de operación son altos comparados con otros productos.• El mortero tipo N es de menor demanda que el tipo S, la relación es de 3 a 1, la rotación de inventario es más lenta, por lo que su producción es en eventos muy cortos.• Se ofrece en dos tonalidades, esto es genera una debilidad para el proceso de producción.

OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Ofrecer un solo producto que cubra las especificaciones para los dos morteros. • Se puede producir un producto más sustentable y ecológico. • Invertir en tecnología de molienda que ayude a aumentar la producción unitaria. 	<ul style="list-style-type: none"> • El sector económico de la construcción tiene altas y bajas, pudiendo afectar ventas.

Resumen de Análisis FODA (Fig. 18)

Lo más práctico para nuestra planta sería en principio producir una sola versión de mortero que cumpliría tanto las especificaciones de ASTM para los tipos N y S, esto daría flexibilidad en la planeación de producción y la entrega de producto.

También lograría mayor estabilidad de calidad al minimizar transiciones de producto a producto y desarrollar corridas más largas.

Se puede optimizar el proceso, minimizando el uso de Clinker, la fineza del producto o ambos, esto resultando en un producto más sustentable y de menor costo, así como con mayor productividad.

4.9 Project Charter

Carta del Proyecto

Nombre del proyecto:

Mejora de la producción de mortero de albañilería

Líder de Proyecto:

Ricardo Ríos

Patrocinador:

Jorge Espinosa

Número del proyecto:

1

Progreso y fechas

Estado:

En curso

Fecha de inicio:

7/11/2022

Fecha de vencimiento:

10/31/2022

Fecha de finalización:

10/31/2022

Duración (días):

112

Clasificación de proyectos

Unidad de Negocio:

Alamo Cement

Departamento:

Calidad

Ubicación:

San Antonio Texas

Metodología:

DMAIC

Nivel de la correa:

Cinturón Negro

Definición del proyecto

Declaración del problema:

Históricamente, la variación del proceso es alta. Durante los pasados 3 años, 65.31% del producto Mortero Tipo S está fuera de especificación superior de resistencia y 39.63% del product cumple la especificación superior de color. En 2022 se elige poner solo especificaciones inferiores de desempeño de resistencia.

Objetivo:

Mejorar el desempeño de los productos en resistencia

Caso de Negocio:

Mejorar el desempeño en resistencia de los productos manteniendo el color definido, minimizando la variación y obteniendo resistencias competitivas.

Tipo de beneficio:

Otro

Producto/Servicio:

Albañilería N y S (Mortero tipo N y tipo S)

Proceso:

Molienda de cemento

Fundamental para:

Calidad, Costo

Alcance:

El alcance es la producción de Morteros de Albañilería

Resultados y Beneficios:

Aumentar % de caliza, mejorando el factor Clinker/Cemento, potencialmente reducir la finura y obtener un aumento en producción.

Palabras clave:

Evaluación de proyectos

Salud:

Verde

Riesgo:

Bajo

Complejidad:

Medio

¿Oportunidad de replicación?

Sí

¿Proyecto de mejores prácticas?

Sí

Métricas de mejora

Métrico	Referencia	Blanco	Actual	Cambio porcentual
Resistencia a 3 días				
Mortero Tipo S		2850	3290	13
Mortero Tipo N		2070	2435	15
Producción en tons.por h				
Mortero Tipo S	50	62	57	9
Mortero Tipo N	50	62	57	9
% Caliza (Tipo S/Tipo N)		33/39	32/38	3

Aprobación del proyecto

Aprobado por:

Jorge Espinosa

Fecha de aprobación:

7/11/2022

Datos financieros

Nombre del proyecto:

Mejora de la producción de mortero de albañilería

Estado de la revisión financiera:

Sin revisar

Fecha de inicio de ahorros:

Septiembre	2022
------------	------

Ahorros financieros anualizados

Ahorros duros anualizados		Ahorros blandos anualizados		Costos de implementación anualizados	
Estimado	Actual	Estimado	Actual	Estimativo	Actual
US\$ 107.000	US\$ 0	US\$ 0		US\$ 5,000	US\$ 0

Ahorros financieros mensuales

#	Fecha	Ahorros duros		Ahorro suave		Ahorro bruto	
		Estimado	Actual	Estimativo	Actual	Estimativo	Actual
1	Sep 2022	US\$ 8,917	US\$ 0	US\$ 0	*	US\$ 8,917	US\$ 0
2	Oct 2022	US\$ 8,917	US\$ 0	US\$ 0	*	US\$ 8,917	US\$ 0
3	Nov 2022	US\$ 8,917	US\$ 0	US\$ 0	*	US\$ 8,917	US\$ 0
4	Dic 2022	US\$ 8,917	US\$ 0	US\$ 0	*	US\$ 8,917	US\$ 0
5	Ene 2023	US\$ 8,917	US\$ 0	US\$ 0	*	US\$ 8,917	US\$ 0
6	Feb 2023	US\$ 8,917	US\$ 0	US\$ 0	*	US\$ 8,917	US\$ 0
7	Marzo 2023	US\$ 8,917	US\$ 0	US\$ 0	*	US\$ 8,917	US\$ 0
8	Abril 2023	US\$ 8,917	US\$ 0	US\$ 0	*	US\$ 8,917	US\$ 0
9	Mayo 2023	US\$ 8,917	US\$ 0	US\$ 0	*	US\$ 8,917	US\$ 0
10	Jun 2023	US\$ 8,917	US\$ 0	US\$ 0	*	US\$ 8,917	US\$ 0
11	Jul 2023	US\$ 8,917	US\$ 0	US\$ 0	*	US\$ 8,917	US\$ 0

12	Ago	2023	US\$ 8,917	US\$ 0	US\$ 0	*	US\$ 8,917	US\$ 0
Totales del proyecto:			US\$ 107,004	US\$ 0	US\$ 0	*	US\$ 107,004	US\$ 0

Líder de Proyecto:

Ricardo Ríos

Campeón:

Ricardo Ríos

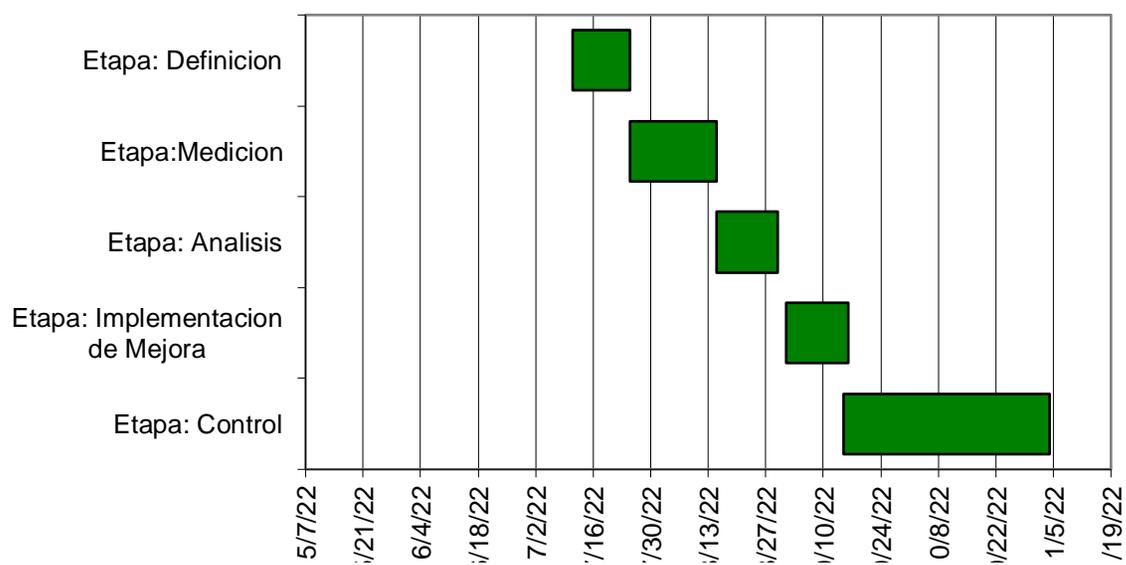
Propietario del proceso:

Greg Murray

Nombre	Correo electrónico	Rol	Departamento
Ricardo Ríos	rrios@alamocement.com	Campeón	Calidad
Jorge Espinosa		Patrocinador	Gerente de Planta
Lea Baurle		Analista Financiero	Contabilización
Greg Murray		Propietario del proceso	Producción
Laura Castro		Mentor/Coach	Calidad Corporativa

4.10 Plan de trabajo – GANTT

Figura 19. Cronograma Gantt del proyecto.



CAPITULO 5 – ETAPA DE MEDICIÓN

5 Medición – análisis del sistema de medición y definición de línea base



5.1 Introducción

El objetivo general de esta etapa se extiende a encontrar que tan mal está el proceso (De Carlo, 2007, pg. 113).

Y Pizdek (2010, pg. 197), indica que los objetivos de esta etapa son:

1. Definición del proceso, para asegurar que las fases de estudio estén claramente definidas.
2. Definición de métricas de desempeño
3. Establecer la línea base.
4. Evaluar los sistemas de medición.

De acuerdo con Brue (2005, pg. 15), primeramente, se identifican los procesos internos que influyen las mediciones críticas para la calidad, o sea las salidas, después se miden los defectos que afectan el estándar crítico, luego se calcula que tanto dinero se podría ahorrar si estos son eliminados, pero antes se realiza un análisis de los sistemas de medición, por ejemplo un estudio de reproducibilidad y repetibilidad, y finalmente, se estima la línea base de la capacidad del proceso, que es básicamente que tan bien esta a ese punto.

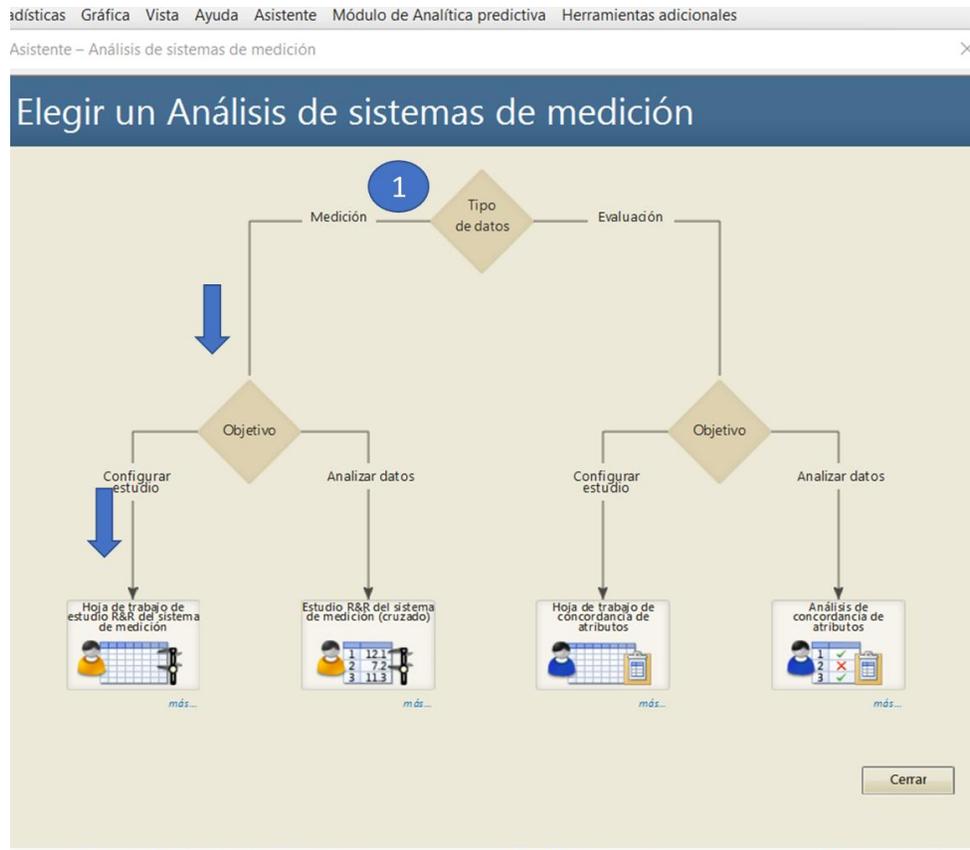
5.2 Estudio de los sistemas de medición de variables

El objetivo del análisis de Repetibilidad y Reproducibilidad es reconocer y controlar la variación en los resultados producidos por el sistema de medición formado por el instrumento y el operador (Elizondo, 1996, pg. 20).

La Repetibilidad dará la variabilidad obtenida por el instrumento mientras que el análisis de Reproducibilidad definirá la variación producida por el operador.

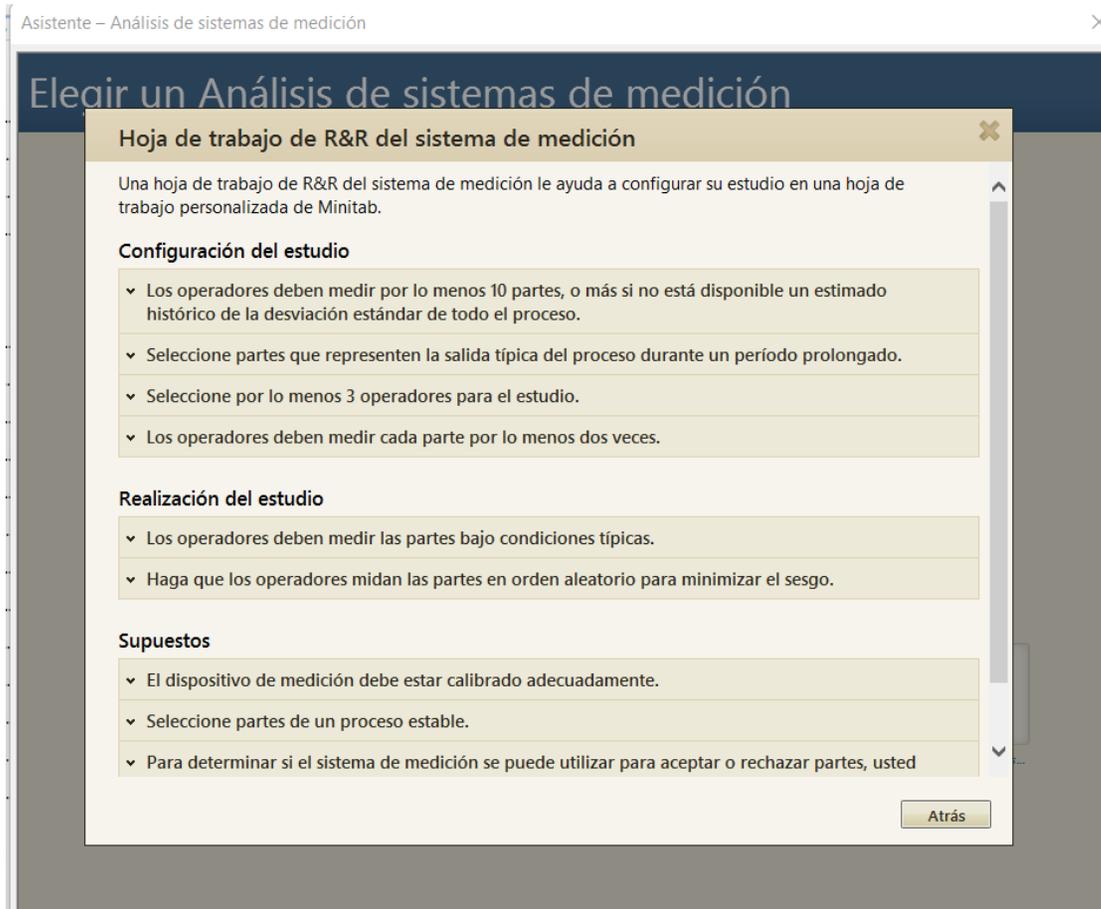
El procedimiento utilizado fue obtenido del asistente de Análisis de sistema de medición de MINITAB. (Fig. 20)

Figura 20. Minitab. Como elegir un MSA



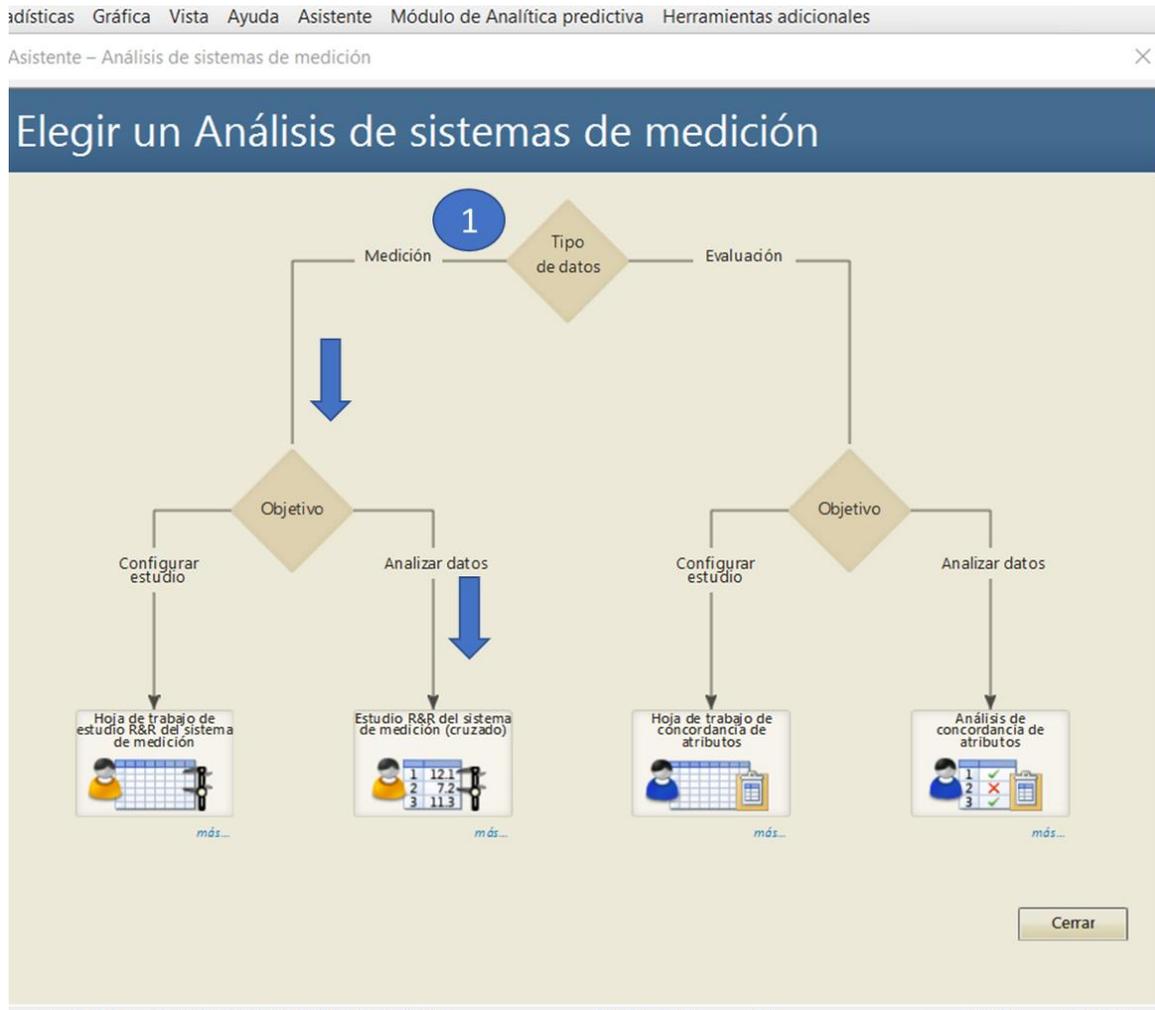
La descripción del procedimiento se muestra a continuación en Figura 21.

Figura 21. MINITAB – Procedimiento- estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad



El análisis de los resultados se hace cuando ya se recolectaron y alimentaron los resultados en la hoja de trabajo de Minitab, y es seleccionando la opción en el asistente (Fig.22).

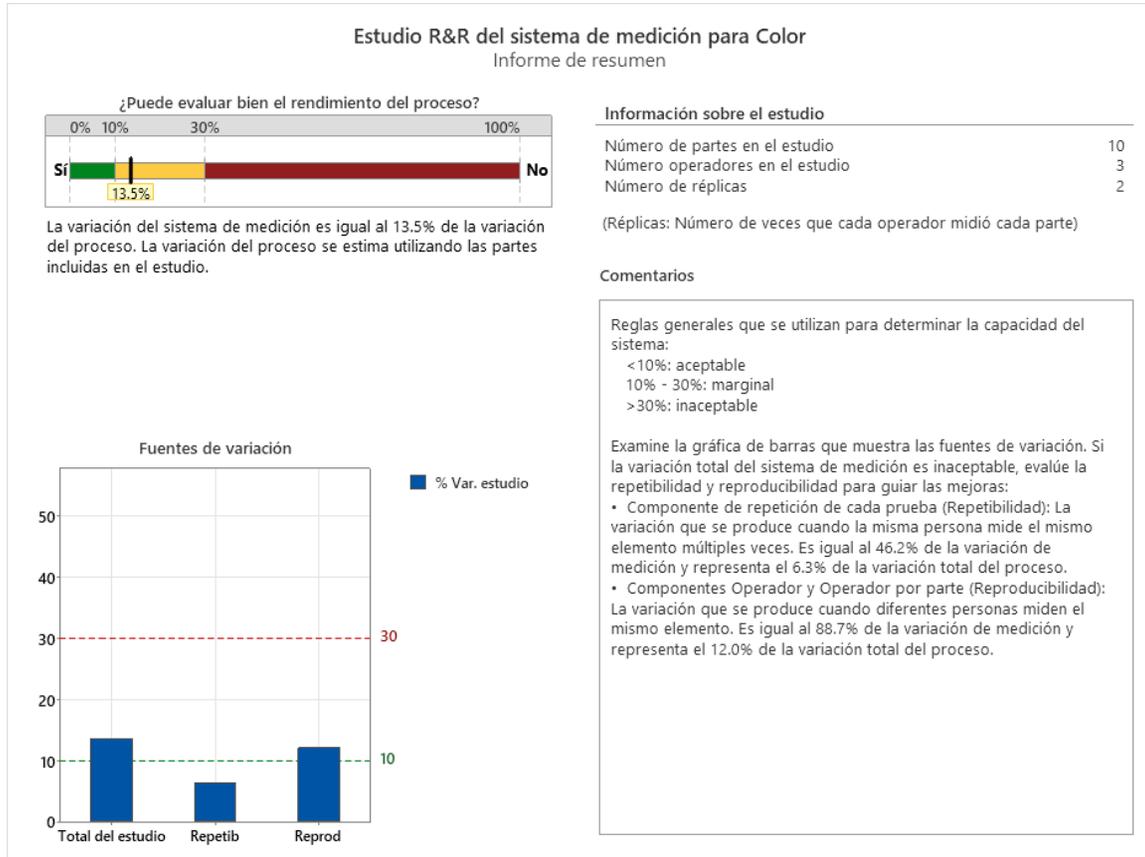
Figura 22. MINITAB- Analizar datos



5.2.1 Estudio R&R del sistema de medición para Color

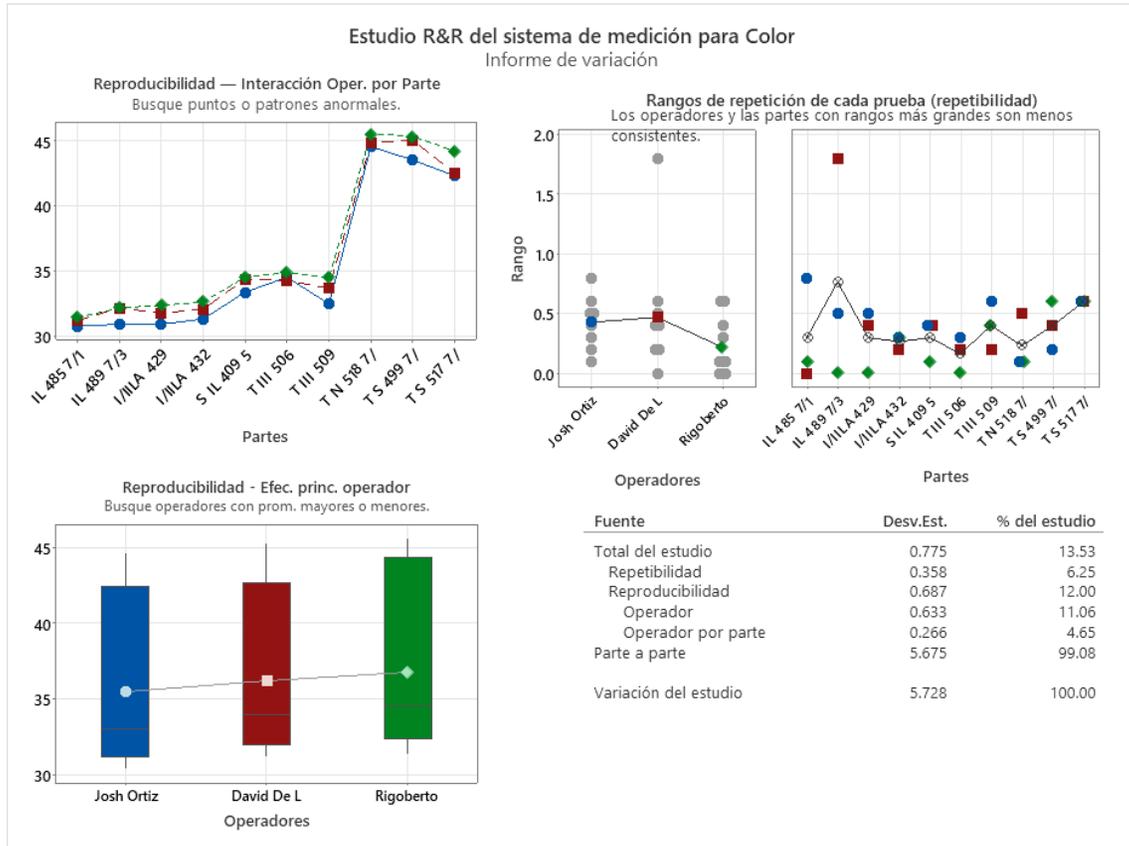
El color como parámetro medible muestra una variación que casi es aceptable, más sin embargo ofrece un mínimo grado de duda, el problema es en la reproducibilidad de resultados entre operadores, el instrumento en si es confiable.

Figura 23. Estudio de Reproducibilidad y Repetibilidad del sistema de medición de COLOR.



Basado en los criterios de aceptación, el valor resultante de 13.5% (Fig.23) muestra que el sistema se puede utilizar, pero requiere mejoras, en este caso se denota que la reproducibilidad es mayor que la repetibilidad, esto indica que los operadores necesitan ser capacitados en la operación del instrumento, la toma de la lectura o ambos.

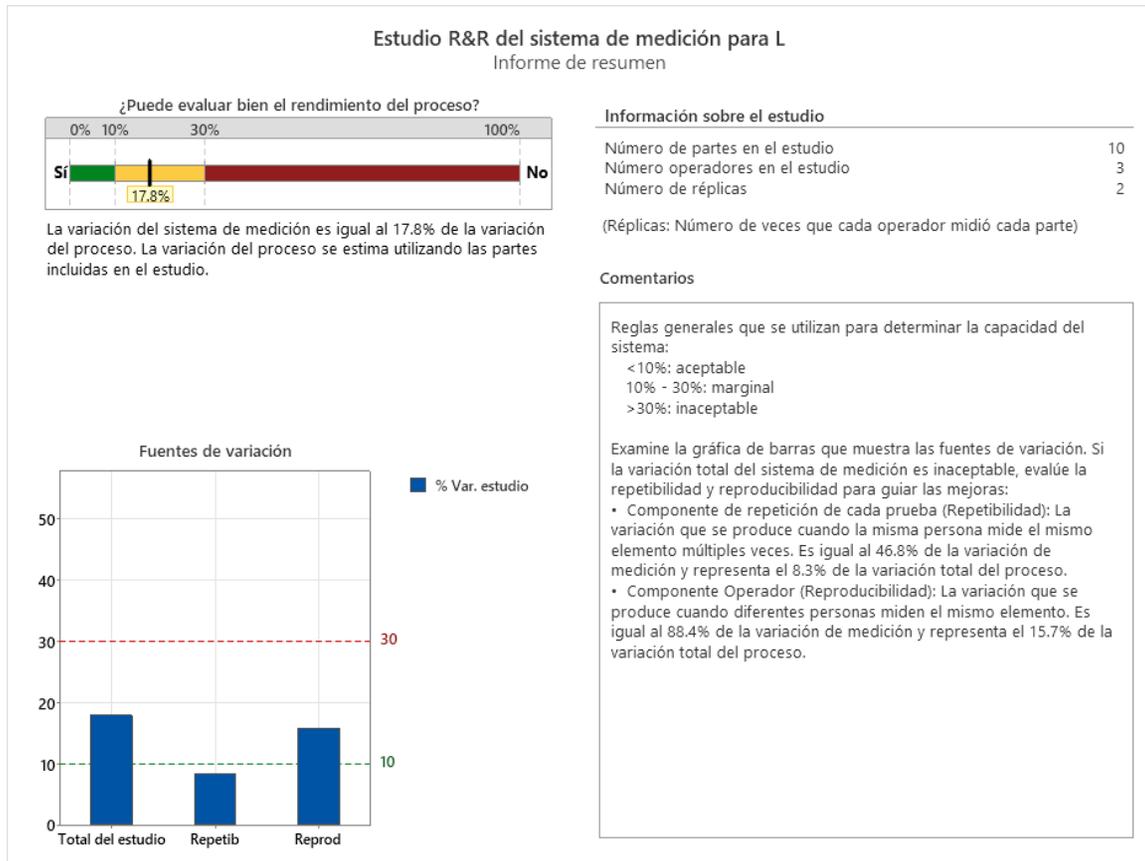
Figura 24. Estudio de Reproducibilidad y Repetibilidad en COLOR. Estabilidad entre operadores.



Nota. En Figura 24 se deduce que hay discrepancias, pero se ha revisado el método y el personal está aplicando el procedimiento correctamente.

5.2.2 Estudio R&R del sistema de medición para L

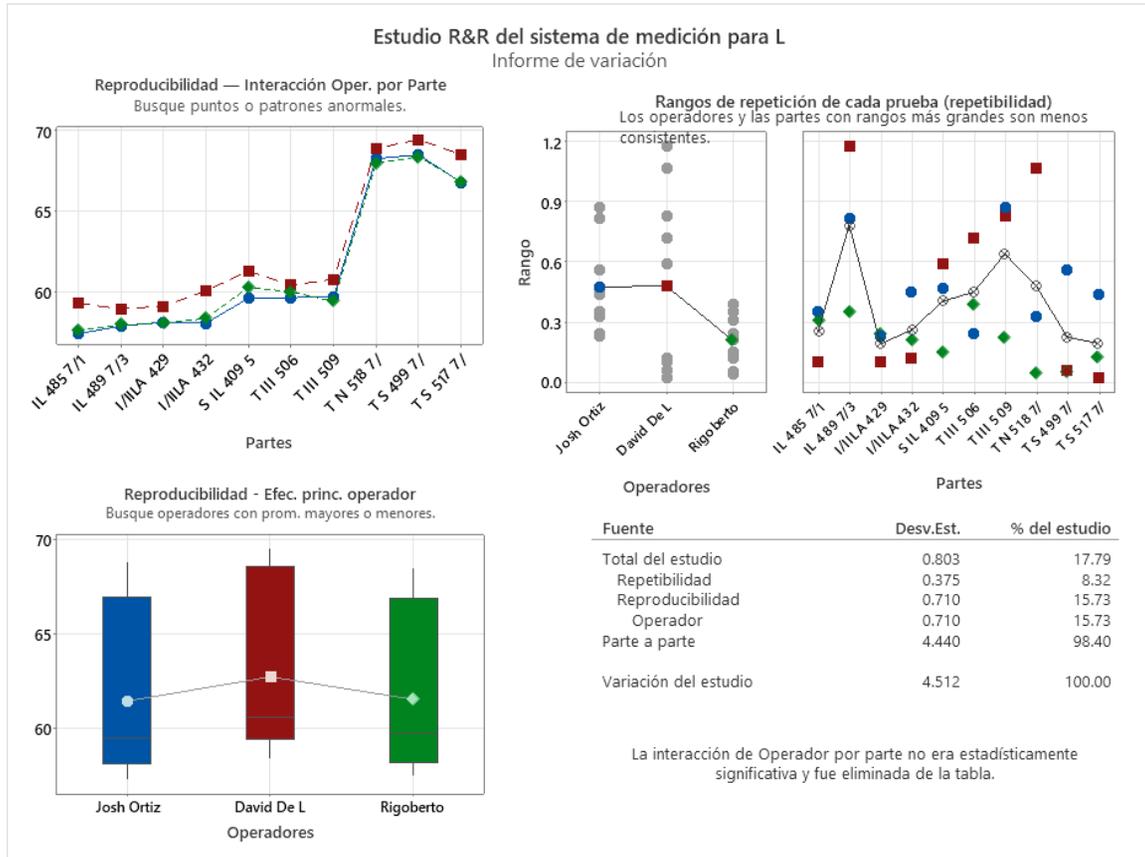
Figura 25. Estudio de Reproducibilidad y Repetibilidad del sistema de medición de COLOR – Hunterlab – parámetro L.



El valor resultante de 17.8% (Fig.25) también indica que el sistema se puede utilizar, pero requiere mejoras.

En este otro caso resulta que la reproducibilidad también es mayor que la repetibilidad, esto indica que los operadores necesitan ser capacitados en la operación del instrumento, la toma de la lectura o ambos.

Figura 26. Estudio de Reproducibilidad y Repetibilidad del sistema de medición de COLOR – Hunterlab – parámetro L. Estabilidad entre operadores



Las posibles causas de variación son:

1. Poco conocimiento del equipo.
2. El instrumento no se recalibra para eliminar error debido a desgaste de fuente de luz, del detector y de condiciones ambientales.

Acciones:

1. Entrenamiento en procedimiento de calibración
2. Recalibrar el instrumento por lo menos cada turno durante la producción de mortero.

5.2.3 Resistencia a la compresión

Dado que estas pruebas están generalmente desarrolladas por una persona y su sustituto, no se podría desarrollar un análisis referenciado en el corto plazo.

Sin embargo, existe otra manera de validar la repetibilidad de las pruebas físicas de nuestro laboratorio.

El laboratorio está inscrito en un programa de pruebas de competencia auspiciado por el CCRL (Cement and Concrete Reference Laboratory – ccrl.us).

Los programas a los cuales la empresa está inscrita son: Portland cement y Masonry

Para el caso de los morteros (masonry), se reciben dos muestras anualmente y se realizan las siguientes pruebas (Tabla 9).

Tabla 9. *Métodos de prueba en el que el laboratorio está inscrito con CCRL.*

#	Nombre de Método	Norma estándar ASTM
1	Consistencia Normal	C 187
2	Tiempo de Fraguado por Método Gilmore	C 266
3	Expansión por Autoclave	C 151
4	Contenido de Aire en Mortero	C 185
5	Resistencia a la compresión (Mortero), 7 y 28 días.	C 109
6	Finura en 45 micras (Malla 325)	C 430
7	Retención de Agua	C 1506
8	Densidad	C 188

La evaluación se hace mediante análisis estadístico de la población de información proveída por los laboratorios participantes, en el cual el particular resultado es comparado contra el promedio

los datos y la desviación estándar de los mismos, habiendo una escala que va desde el cero hasta el máximo de 5, siendo este último excelente desempeño.

A continuación, se presenta el histórico de evaluaciones para las pruebas de resistencia a 3 días que se han reportado los últimos 5 años.

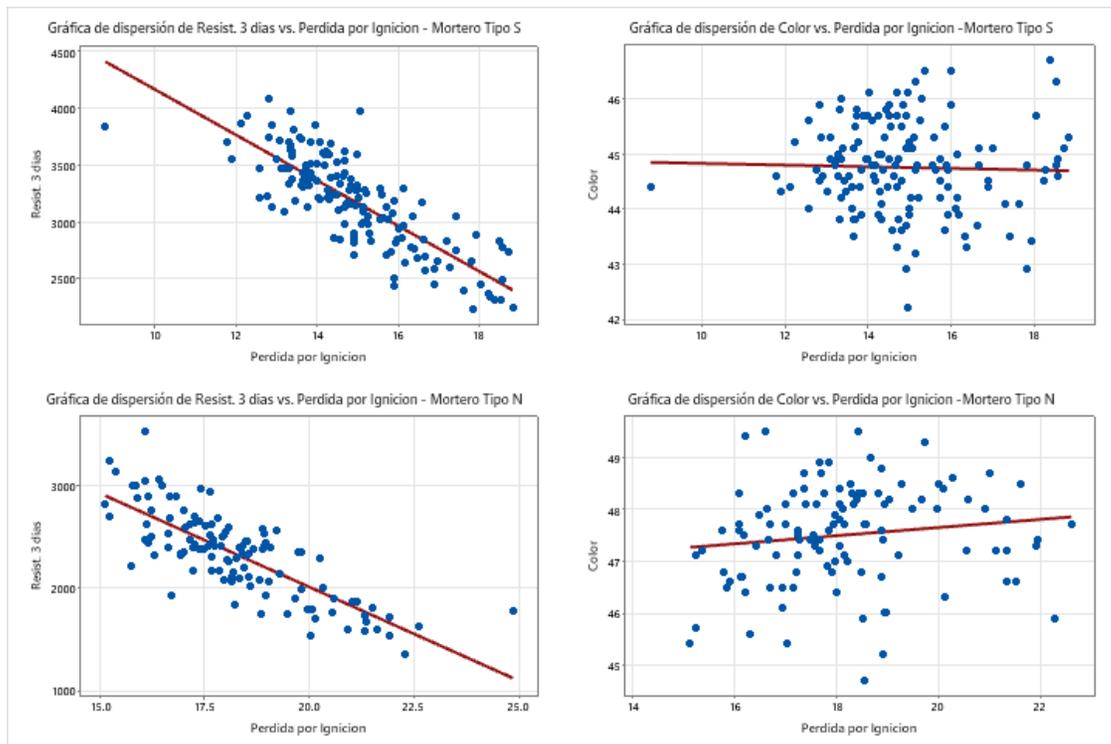
Tabla 10. *Métodos de prueba en el que el laboratorio está inscrito con CCRL.*

Reportes	Muestras	Calificación muestra impar	Calificación muestra par
Abril 7, 2022	223 & 224	5	5
Septiembre 9, 2021	221 & 222	5	5
Abril 9, 2021	219 & 220	5	4
Septiembre 23, 2020	217 & 218	5	5
Abril 3, 2020	215 & 216	5	5
Septiembre 20, 2019	213 & 214	5	5
Marzo 27, 2019	211 & 212	4	5
Septiembre 14, 2018	209 & 210	5	4
Marzo 22, 2018	207 & 208	5	5
Agosto 31, 2017	205 & 206	-5	-5
Marzo 16, 2017	203 & 204	5	5

5.3 Análisis X-Y

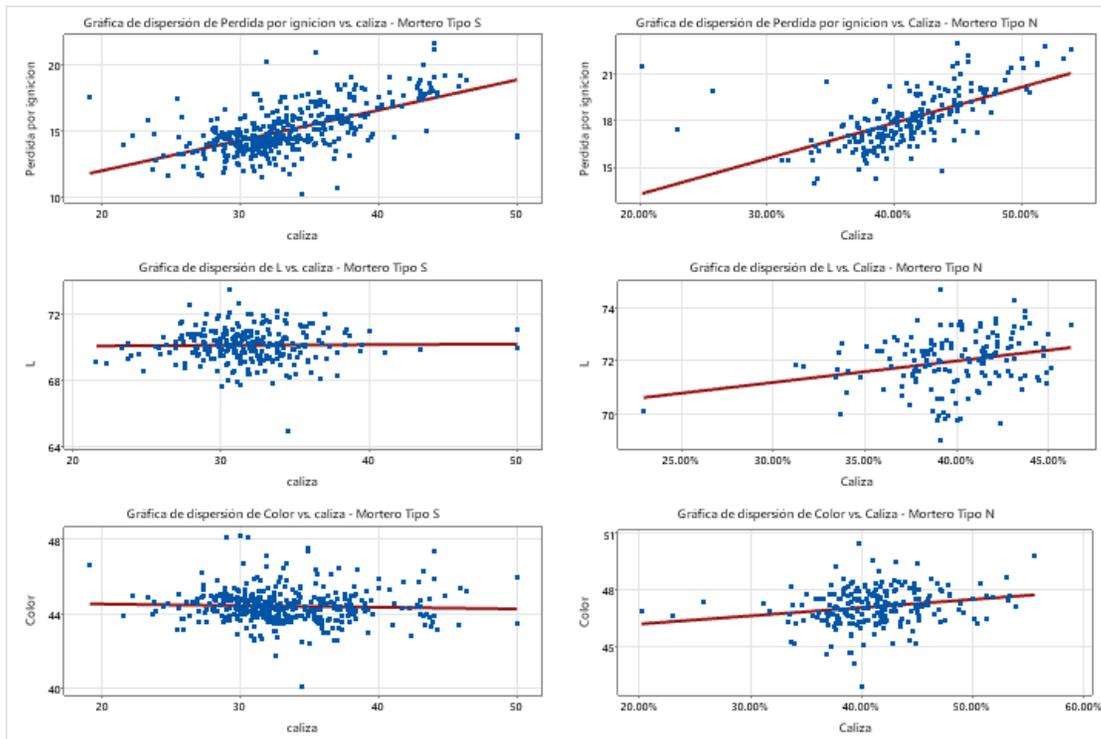
Del estudio preliminar de correlaciones ya se había comentado que las resistencias muestran una fuerte e inversa correlación con la pérdida por ignición, que en si es una prueba que se relaciona con la materia que se puede descomponer térmicamente a 950C, y que en el caso del cemento es principalmente de la caliza añadida y el yeso en menor proporción.

Figura 27. Gráficas de dispersión, Resistencia a 3 días y Color vs Perdida por ignición.



En el caso del color que coincidentemente se controla con la adición de caliza no existe correlación evidente (Fig. 27, gráficos a la derecha).

Figura 28. Gráficas de dispersión, Resistencias, L y Color vs Caliza.



En la figura 28, las gráficas superiores muestran una correlación entre la pérdida por ignición y el contenido de caliza, y la dispersión de datos se explica por el sobre control aplicado para obtener el color del producto.

Se observa también que no hay una correlación entre los parámetros de color y el contenido de caliza, que hace pensar que el sobre control no solo afecta el desarrollo de resistencias, sino que agrega variación a la determinación de color.

5.4 Cálculo de Nivel Sigma del proceso

De Carlo (2007, pg. 36) indica que el Nivel Sigma es usado para definir los llamados puntajes Z.

Z es una medida estadística que cuantifica la distancia entre un dato y el promedio, esto en unidades de desviación estándar.

Para variables continuas el Nivel Sigma se calcula a partir de las probabilidades de que la Z critica sea mayor a las Z de limites inferior y superior, sumándose estos dos valores.

Sea

$$Z_{LIE} = \frac{Xm-LIE}{S}$$

Y

$$Z_{LSE} = \frac{LSE-Xm}{S}$$

Y las probabilidades

$$P(Z_I > Z_{LIE}) = \int_Z^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\mu^2}{2}} d\mu$$

$$P(Z_U > Z_{LSE}) = \int_Z^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\mu^2}{2}} d\mu$$

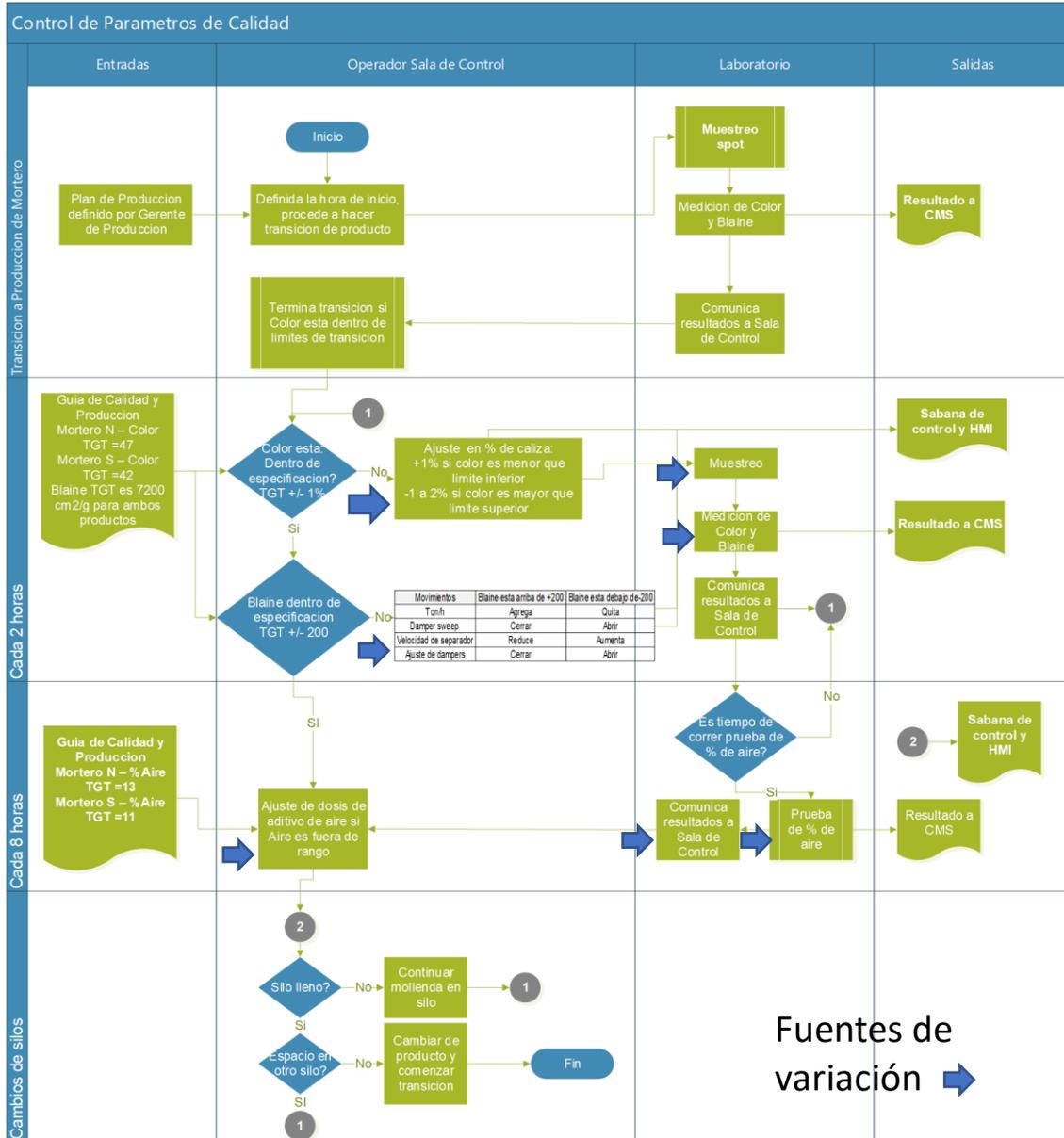
La probabilidad total de que la característica este fuera de especificación es:

$$P_{total} = P(Z_I > Z_{LIE}) + P(Z_U > Z_{LSE})$$

Los cálculos efectuados para este estudio se describen en la sección 5.6 de este capítulo, bajo los estudios de capacidad del proceso.

5.5 Mapa de Procesos a detalle con entradas y salidas

Figura 29. Diagrama de flujo del proceso de producción de Mortero.



En la figura 29 se marcan las Fuentes de variación en los pasos que tienen una flecha azul.

1. El muestreo de cemento – spot y compositos.
2. La medición de Color – Preparación / análisis/ chequeo y calibración de instrumento
3. La medición de Blaine – preparación/ análisis / revisión y calibración de instrumento / temperatura ambiente.
4. La medición del % de Aire – preparación/análisis/ chequeo y calibración de balanza, chequeo y limpieza de utensilios de preparación / temperatura ambiente.
5. Ajustes de % de caliza (muy poco o mucho), El único punto contradictorio es que, en las pruebas horarias, el modular este material implica un efecto en la finura Blaine dado que la cantidad añadida o sustraída lo afectara en cierta mínima fracción.
6. Ajustes de parámetros de operación (poco o mucho) sobre Blaine
7. Ajustes de aditivo (poco o mucho) por el % de aire, más inclusión provoca que la resistencia baje, el efecto no es parte de este estudio y se ha visto que los operadores no ajustan el aditivo frecuente y drásticamente.

5.6 Definiciones operacionales

Tabla 11. Esquema de la definición operacional del problema.

Problema	Como mejorar el desempeño de resistencia a 3, 7 y 28 días mientras se mantiene color de cemento.	
	Independientes	Dependientes
Variables	Componentes de Mezcla	Resistencia a 3 días
	Clinker	Resistencia a 7 días
	Caliza	Resistencia a 28 días
	Yeso	Color
	Toneladas por hora del molino	Consistencia normal
	Velocidad de separador	% Aire
	Succion del ventilador a colector de polvos	Finura Blaine
		Finura malla 325
		Retencion de Agua
Definicion Conceptual	El proceso de molienda transforma los componentes en cemento fino con propiedades de adhesión y resistencia	
Definicion Operacional	Variando la velocidad de separador y la succion de colector se logran objetivos de finura	
Hipotesis	El color del cemento es directamente dependiente de las proporciones de los componentes en la mezcla, mientras que las resistencias dependen primeramente de la cantidad de clinker, y/o finura en el cemento.	

En la definición operacional se hace una descripción resumida de que variables operacionales interactúan con las de desempeño del producto, estableciendo con mas certeza una causalidad e inicialmente se establece una hipótesis (Ver Tabla 11).

5.7 Análisis de carta de corridas

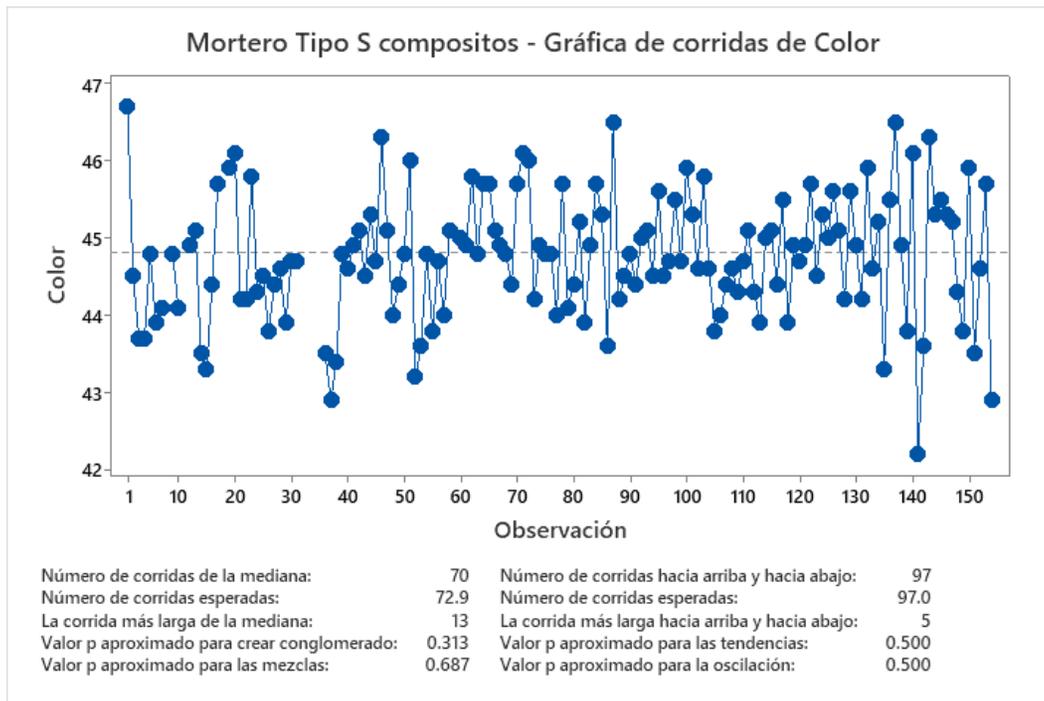
La carta de corridas es una herramienta donde los datos se grafican de manera secuencial respecto al tiempo en que el proceso corre. El objeto de este análisis es plasmar la variación en gráficos y realizar determinaciones rápidas de estabilidad. (DeCarlo, 2007, página 143)

La estabilidad es determinada mediante la existencia de uno de los siguientes cuatro potenciales problemas.

- “*Clustering*”, clastro o conglomerado – es el agrupamiento no natural de valores alrededor de cierto punto.
- Mezclado – La ausencia no natural de ocurrencias significativas de valores por arriba o debajo de la mediana de los datos.
- Tendencias- La existencia no natural de tendencias yendo arriba o abajo.
- Oscilaciones – La ocurrencia no natural de valores que fluctúan arriba y abajo.

La evaluación se logra juzgando valores de probabilidad (Valor p) siendo estas inferencias estadísticas de los datos, si el “Valor p” es debajo de 0.05 entonces se tiene el problema presente.

Figura 30. Gráfica de corridas de Color en Mortero Tipo S (2019 -Junio 2022) mostrando los Valores p



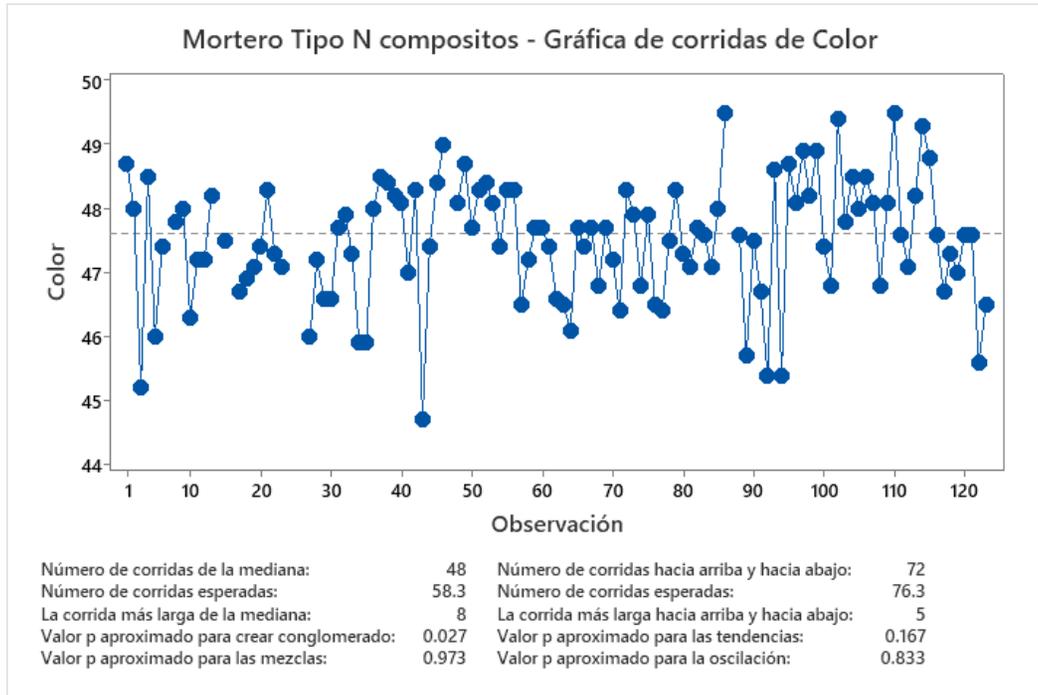
En la figura 30 para Color en Mortero Tipo S se aprecia que los primeros 130 datos varían en un rango más cerrado que los últimos 25 donde se abre la variación, ahora juzgando la gráfica con los valores p, y dado que todos están arriba de 0.05 entonces se infiere que el proceso está estable.

Figura 31. *Grafica de corridas de Resistencias a 3 días en Mortero Tipo S (2019 -Junio 2022) mostrando los Valores p.*



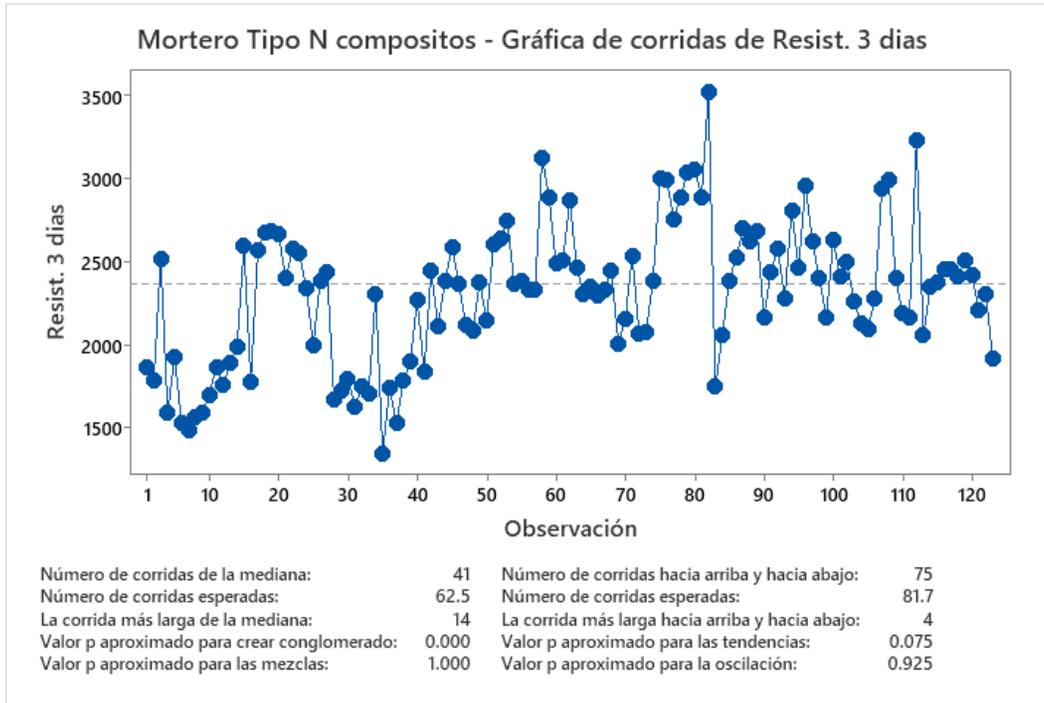
En la figura 31, los datos de resistencias están mostrándose en claustrs y tendencias, los valores p menores a 0.05 indican estos dos problemas presentes.

Figura 32. Gráfica de corridas de Color en Mortero Tipo N (2019 -Junio 2022) mostrando los Valores p



(Ver Fig. 32) En el caso del color en Mortero tipo N, el único problema es que hay algunos claustrros, el valor p confirma al estar debajo de 0.05.

Figura 33. *Grafica de corridas de Resistencias a 3 días en Mortero Tipo N (2019 -Junio 2022) mostrando los Valores p*



Mientras que en la Resistencia de 3 días se infiere un problema de claustrós al encontrarse valor p menor a 0.05 (cero absoluto), y así se tiene evidencia estadística que el proceso no estuvo estable (Fig. 33).

En conclusión, las pruebas de estabilidad presentan un panorama en el cual el proceso tiende más a estabilizar el color relativo obteniendo también problemas de inestabilidad en las resistencias a la compresión.

5.8 Control del proceso

(Kubiak and Benbow, 2007, pg. 358). Control Estadístico de Proceso es una serie de herramientas y actividades que ayudan a lograr la meta de satisfacer las necesidades del cliente por medio de los siguientes objetivos:

- Cuantificar y reducir variación
- Mejorar el entendimiento de productos y procesos
- Mejorar el diseño de producto y proceso
- Monitorear los procesos en tiempo real
- Hacer decisiones estadísticamente validas
- Centrar el proceso
- Determinar cuándo si y cuando no tomar acción sobre el proceso.
- Determinar el tipo de acción a tomar

Partiendo del hecho que todo proceso tiene variación, pero causas pueden ser especiales o comunes. (Kubiak and Benbow, 2007, pg. 359).

Las causas comunes son las naturales e inherentes al proceso, generalmente no controlables por los operadores.

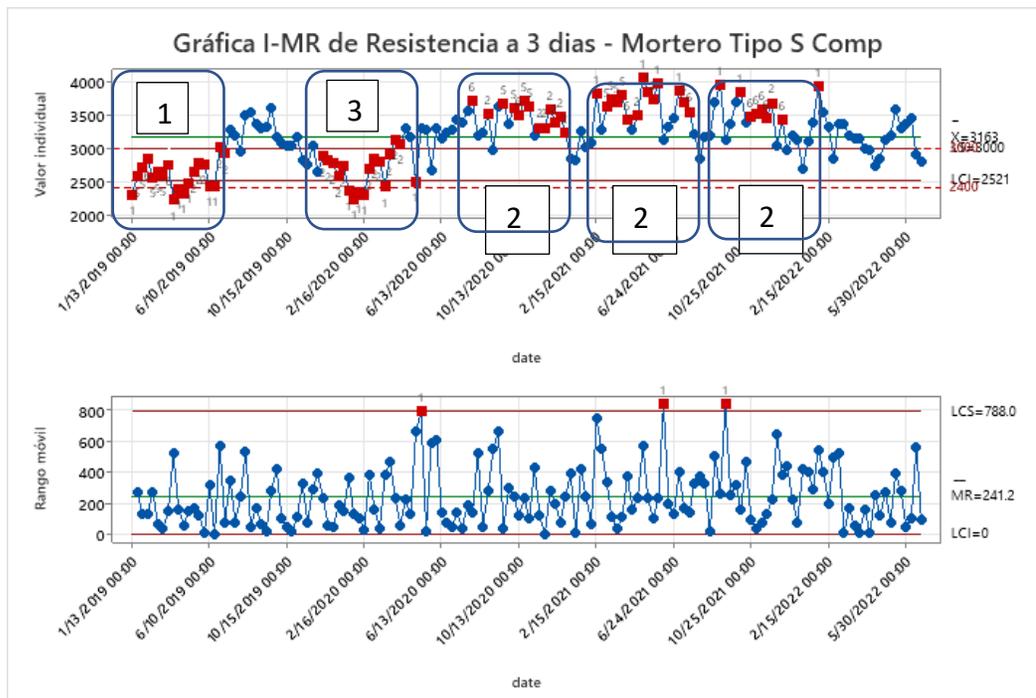
Causas especiales de variación incluyen eventos inusuales que el operador puede usualmente remover o ajustar.

Aun y cuando la planta tiene especificaciones para los productos y límites de control para las variables, no usamos control estadístico de proceso, ni aplicamos reglas de acción definidas como en SPC, en general se tiende a controlar el proceso en los extremos.

Y en el caso de la producción de cementos Morteros, se tiende a sobre controlar la cantidad de caliza para lograr el color.

A continuación, se presentan las gráficas de control I-rango móvil para los datos de Resistencias a 3 días y Color para Mortero Tipo S.

Figura 34. Gráfica I-MR de Resistencias a 3 Días – Mortero Tipo S- compositos



En Fig. 34 se marcan las causas especiales con números y aquí se enlistan:

1. Uso de Clinker intemperizado durante 2019, que resulto en resistencias bajas hacia límite inferior.
2. Sobre control de color con caliza, haciendo imposible reducir la variación y tendencias a altas resistencias
3. Uso de caliza en mayor proporción resultando en menor resistencia.

Tabla 12. Resultados de las pruebas de control en la gráfica I de Resistencias a 3 Días

Resistencia 3 días- Mortero tipo S			
Prueba	Descripcion	Xm	MR
1	Un punto a mas de 3 sd de la linea central	21	3
2	9 puntos consecutivos en el mismo lado de la linea central	40	0
3	6 puntos consecutivos , todos aumentado o disminuyendo	0	0
4	14 puntos consecutivos , alternando arriba y abajo	0	0
5	2 de 3 puntos en mas de dos sd al mismo lado de linea central	31	0
6	4 de 5 puntos a mas de una sd de la linea central (mismo lado)	48	0
7	15 puntos consecutivos dentro de 1 sd de linea central	0	0
8	8 puntos consecutivos a mas de una sd de la linea central	19	0

Nota: Las pruebas 1, 5 y 6 indican que el proceso esta fuera de control estadístico.

Figura 35. Pareto de ocurrencia de eventos fuera de control de la resistencia a 3 días.

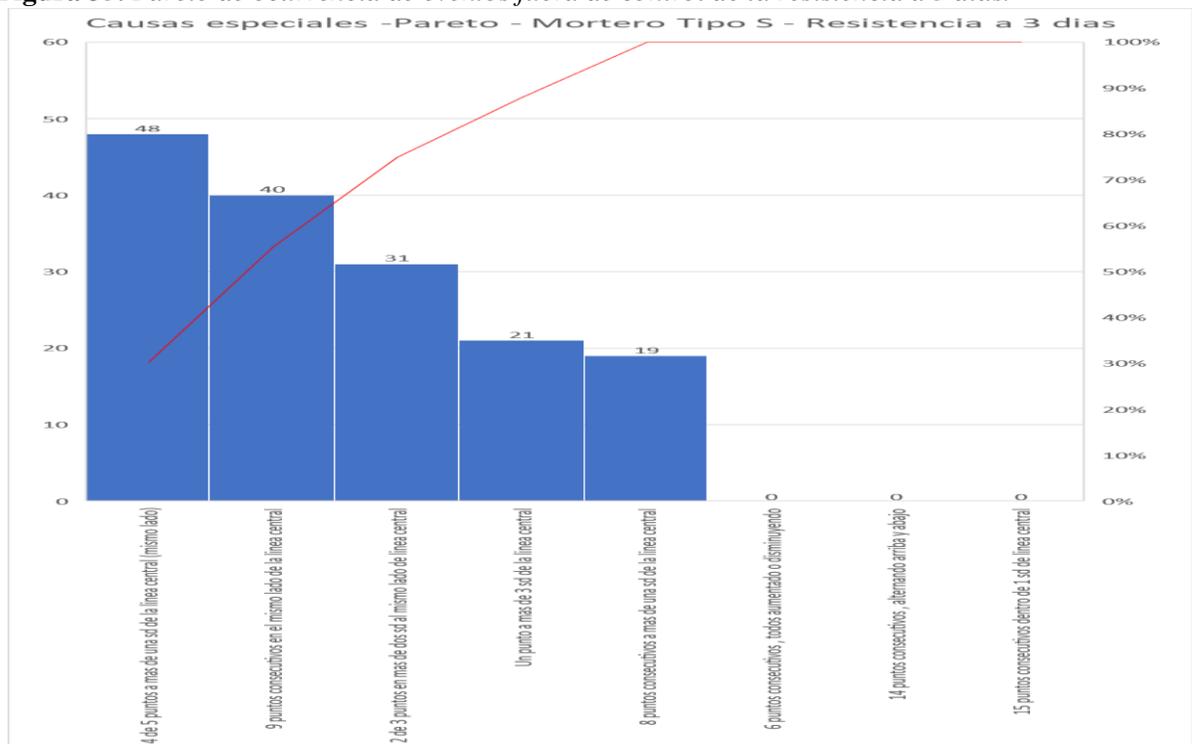
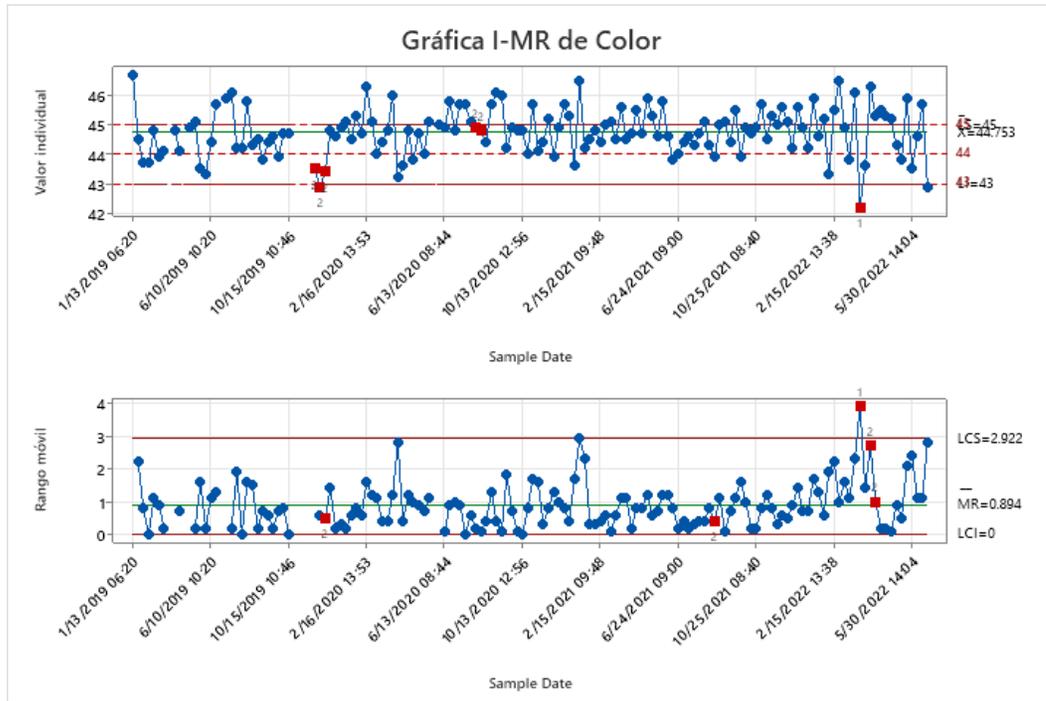


Figura 36. Gráfica I-MR de Color -Mortero Tipo S – compositos



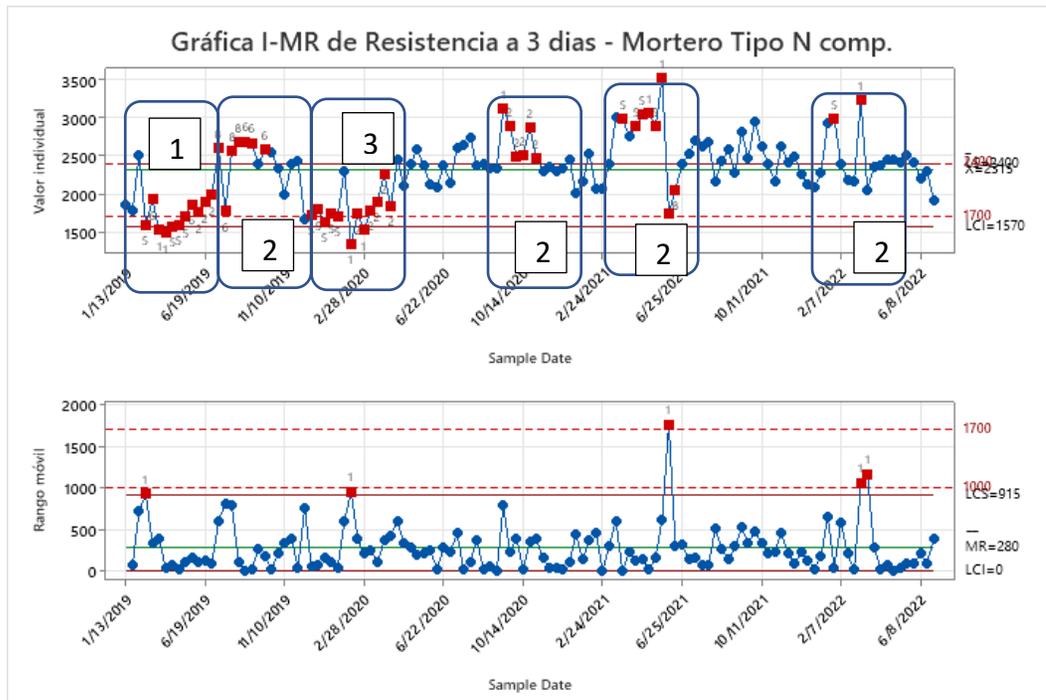
En general el proceso está en control estadístico a lo que a color se refiere, pero tendiente a tener valores arriba del valor objetivo casi todo el tiempo.

Tabla 13. Resultados de las pruebas de control en la gráfica I de Color (Mortero Tipo S)

Prueba	Descripción	Xm	MR
1	Un punto a más de 3 sd de la línea central	1	1
2	9 puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central	5	4
3	6 puntos consecutivos, todos aumentado o disminuyendo	0	0
4	14 puntos consecutivos, alternando arriba y abajo	0	0
5	2 de 3 puntos en más de dos sd al mismo lado de línea central	0	0
6	4 de 5 puntos a más de una sd de la línea central (mismo lado)	0	0
7	15 puntos consecutivos dentro de 1 sd de línea central	0	0
8	8 puntos consecutivos a más de una sd de la línea central	0	0

Ahora se muestran las gráficas i- rango móvil para los datos de resistencia a 3 días y Color para Mortero Tipo N (Fig. 37).

Figura 37. Gráfica I-MR de Resistencias a 3 Días – Mortero Tipo N – compositos



En Fig. 37 se marcan las Causas especiales:

1. Uso de Clinker intemperizado durante 2019, que resulto en resistencias bajas hacia límite inferior.
2. Sobre control de color con caliza, haciendo imposible reducir la variación y tendencias a altas resistencias
3. Uso de caliza en mayor proporción resultando en menor resistencia.

Tabla 14. Resultados de las pruebas de control en la gráfica I de Resistencias a 3 Días

Prueba	Descripcion	Xm	MR
1	Un punto a más de 3 sd de la línea central	8	5
2	9 puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central	15	0
3	6 puntos consecutivos, todos aumentado o disminuyendo	0	0
4	14 puntos consecutivos, alternando arriba y abajo	0	0
5	2 de 3 puntos en más de dos sd al mismo lado de línea central	24	0
6	4 de 5 puntos a mas de una sd de la línea central (mismo lado)	27	0
7	15 puntos consecutivos dentro de 1 sd de línea central	0	0
8	8 puntos consecutivos a mas de una sd de la línea central	13	0

Figura 38. Pareto de ocurrencia de eventos fuera de control de la resistencia a 3 días



Figura 39. Gráfica I-MR de Color – Mortero Tipo N – compositos.

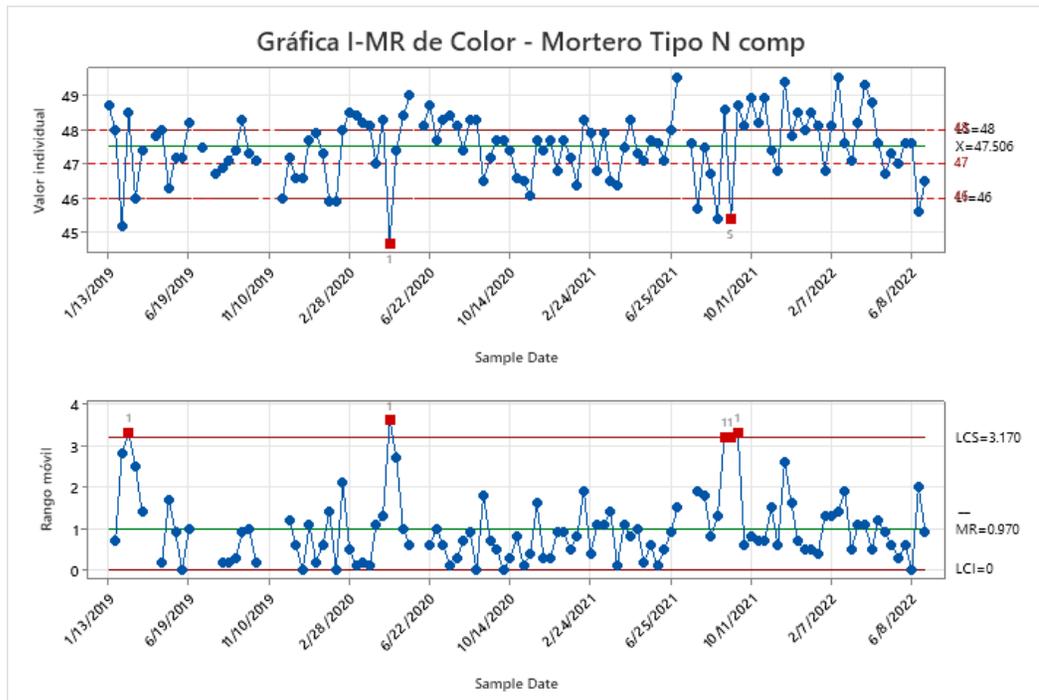


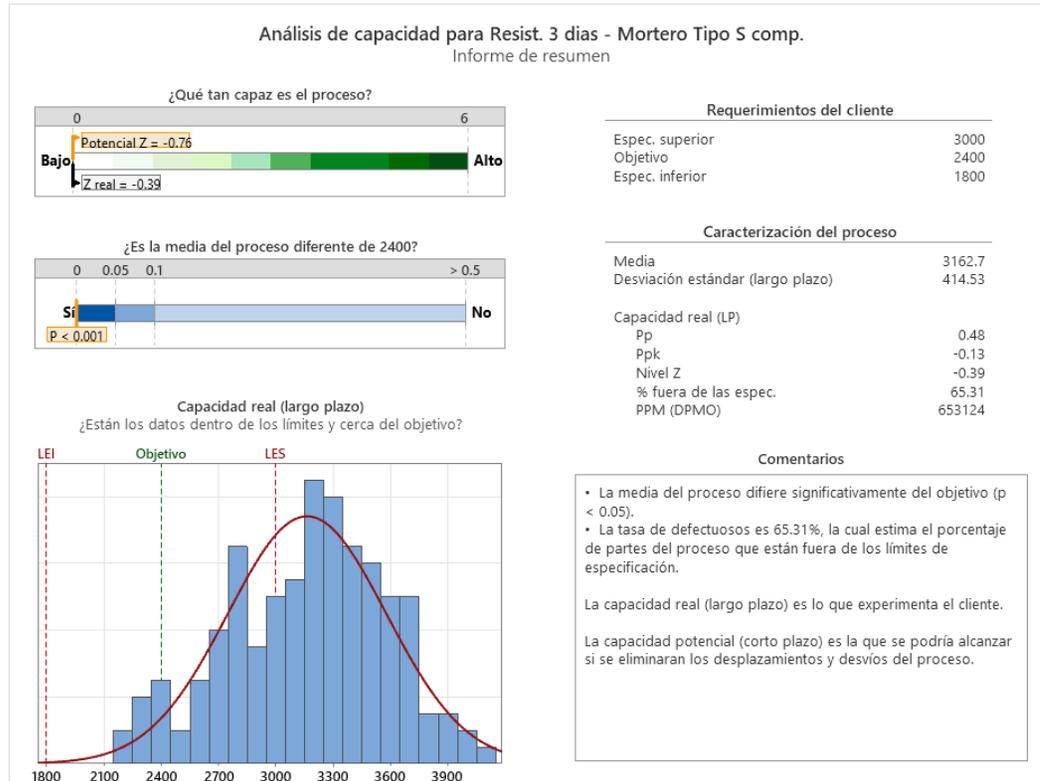
Tabla 15. Resultados de las pruebas de control en la gráfica I de Color – Mortero N

Prueba	Descripcion	Xm	MR
1	Un punto a más de 3 sd de la línea central	1	5
2	9 puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central	0	0
3	6 puntos consecutivos, todos aumentado o disminuyendo	0	0
4	14 puntos consecutivos, alternando arriba y abajo	0	0
5	2 de 3 puntos en más de dos sd al mismo lado de línea central	1	0
6	4 de 5 puntos a más de una sd de la línea central (mismo lado)	0	0
7	15 puntos consecutivos dentro de 1 sd de línea central	0	0
8	8 puntos consecutivos a más de una sd de la línea central	0	0

5.9 Análisis de capacidad de proceso

5.9.1 Mortero tipo S – Resistencias a 3 días – Compositos

Figura 40. Análisis de capacidad para Resistencias de 3 Días – Mortero Tipo S- compositos



De Figura 40, se lee que el % fuera de especificación es 65.31%, de ahí se deduce que:

- FPY – 34.69% de la producción entra en los límites de especificación, a esto se le consideraría lo que se llama “*First Pass Yield*”, pero en realidad todo el producto pasa a ser vendible siempre y cuando sea mayor al límite de especificación inferior.
- Nivel Sigma – dado que el valor DPMO es igual a 653,124, esto se traduce en un nivel sigma de 1.1, en si concluyendo que existe una alta variabilidad en las resistencias a 3 días en Mortero Tipo S.

Ahora calculando los valores Z a partir de la media, desviación estándar y los límites de especificación, el Nivel Sigma es:

$$Z_{LIE} = \frac{x_m - LIE}{s} = \frac{3162.7 - 1800}{414.53} = 3.287$$

Y

$$Z_{LSE} = \frac{LSE - x_m}{s} = \frac{3000 - 3162.7}{414.53} = -0.3925$$

Y las probabilidades

$$P(Z_l > Z_{LIE}) = P(Z_l > 3.287) = 0.0005 = 0.05\%$$

$$P(Z_u > Z_{LSE}) = P(Z_u > -0.39) = 1 - P(Z_u < -0.39) = 1 - 0.3482 = 0.6518 = 65.18\%$$

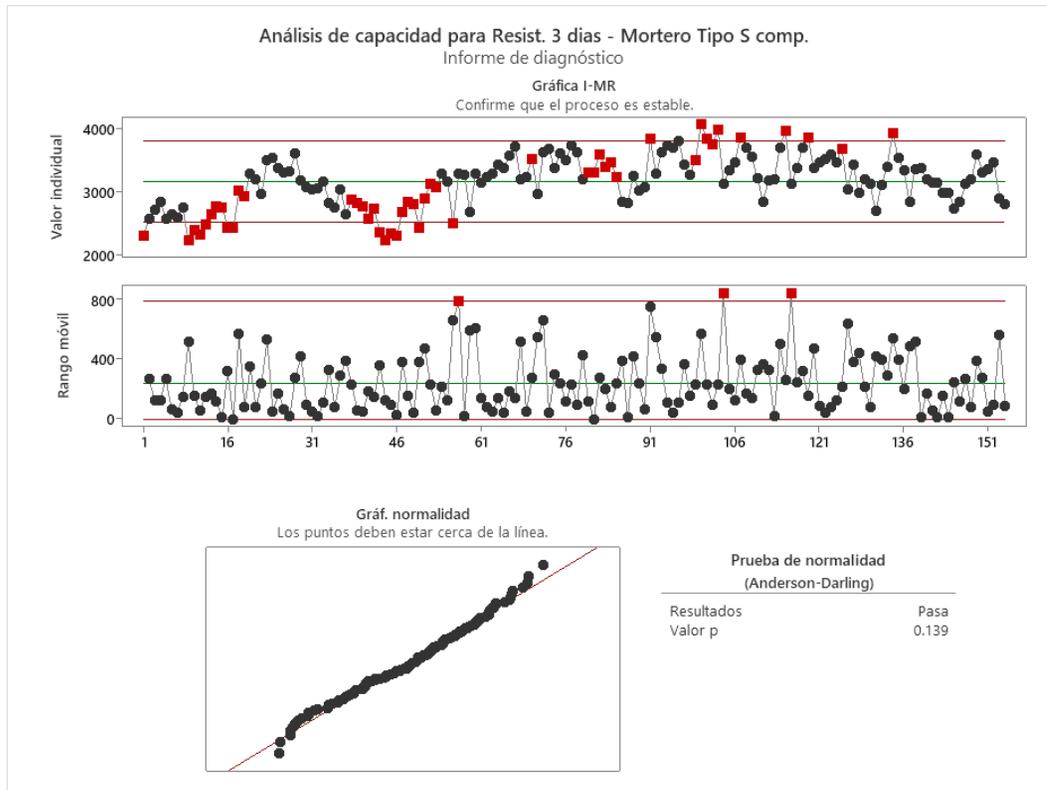
$$P_{\text{total}} = 0.6518 + 0.0005 = 0.6523 \gggg Z = \text{Nivel Sigma} = -0.39$$

$$\text{Nivel Sigma es} = -0.39 + \text{shift} = -0.39 + 1.5 = 1.1$$

Concluyendo que el Nivel sigma es -0.39 a corto plazo y 1.1 a largo plazo, la probabilidad que la resistencia sea mayor al límite superior de especificación es 65.18% por lo que el *First Pass Yield* es 34.82%.

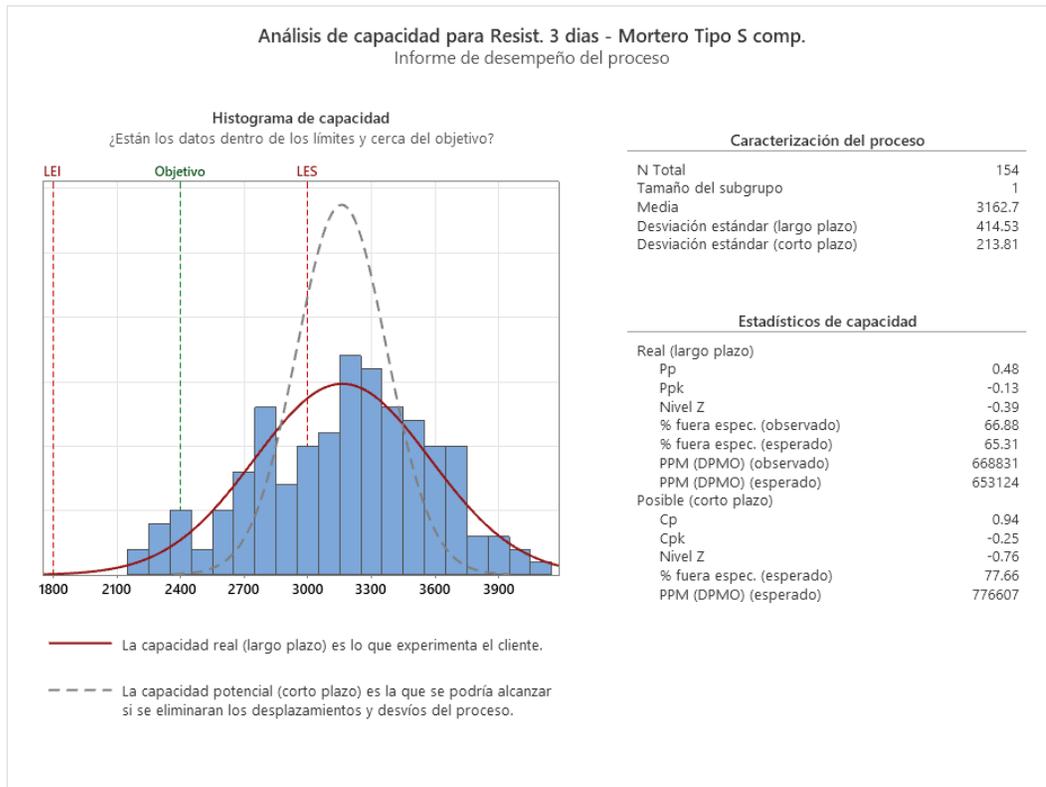
Prueba de Normalidad de los datos

Figura 41. *Graficas I-MR y Prueba de Normalidad de las Resistencias a 3 días de Mortero Tipo S – compositos.*



En la Figura 41 se indica que datos afectaron las pruebas de control estadístico pero también indica que los datos de Resistencia están normalmente distribuidos.

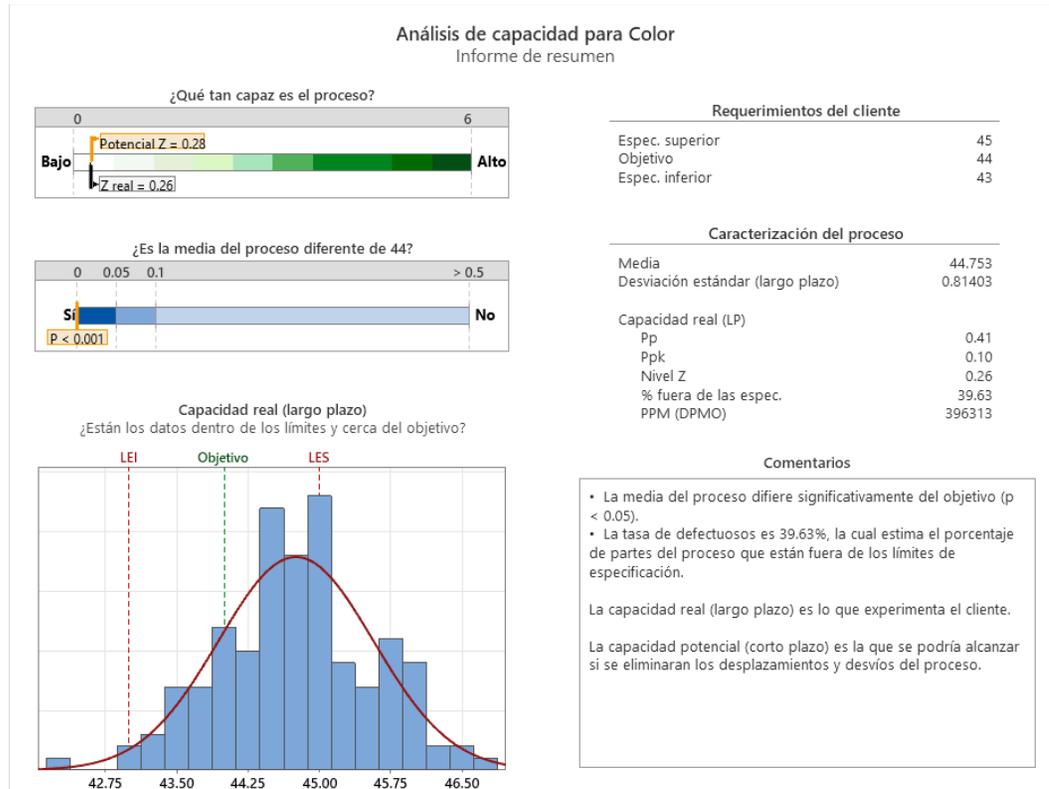
Figura 42. Informe de desempeño de proceso con Estadísticos de capacidad de proceso de las Resistencias a 3 días del producto Mortero Tipo S.



La Figura 42 indica que en caso de que las causas especiales se resuelvan la mejora sería una reducción de 12.35% en fuera de especificación.

5.9.2 Mortero Tipo S- Color – Compositos

Figura 43. Análisis de capacidad para Color – Mortero Tipo S – compositos



De Figura 43.

- A. *FPY* – 60.37% de la producción entra en los límites de especificación, a esto se le consideraría lo que se llama “*First Pass Yield*”, es aquí donde se detecta que en realidad el color no se puede controlar de manera efectiva.
- B. Nivel Sigma – dado que el valor DPMO es igual a 396,313, esto se traduce en un nivel sigma menor a 1, en si concluyendo que existe una alta variabilidad en el Color en Mortero Tipo S.

Calculando los valores Z a partir de la media, desviación estándar y los límites de especificación el Nivel Sigma es:

$$Z_{LIE} = \frac{x_m - LIE}{s} = \frac{44.75 - 43}{0.814} = 2.149$$

Y

$$Z_{LSE} = \frac{LSE - x_m}{s} = \frac{45 - 44.75}{0.814} = 0.307$$

Y las probabilidades

$$P(Z_I > Z_{LIE}) = P(Z_I > 2.149) = 0.0157 = 1.57\%$$

$$P(Z_U > Z_{LSE}) = P(Z_U > 0.307) = 0.3782 = 37.82\%$$

$$P_{\text{total}} = 0.3782 + 0.0157 = 0.3939 \gg Z = \text{Nivel Sigma} = 0.26$$

$$\text{Nivel Sigma es} = 0.26 + \text{shift} = 0.26 + 1.5 = 1.76$$

Concluyendo que el Nivel sigma es 0.26 a corto plazo y 1.76 a largo plazo, la probabilidad que el color este fuera de especificación es 39.39% por lo que el *First Pass Yield* es 60.61%.

Figura 44. Graficas I-MR y Prueba de Normalidad del Color en Mortero Tipo S – compositos.

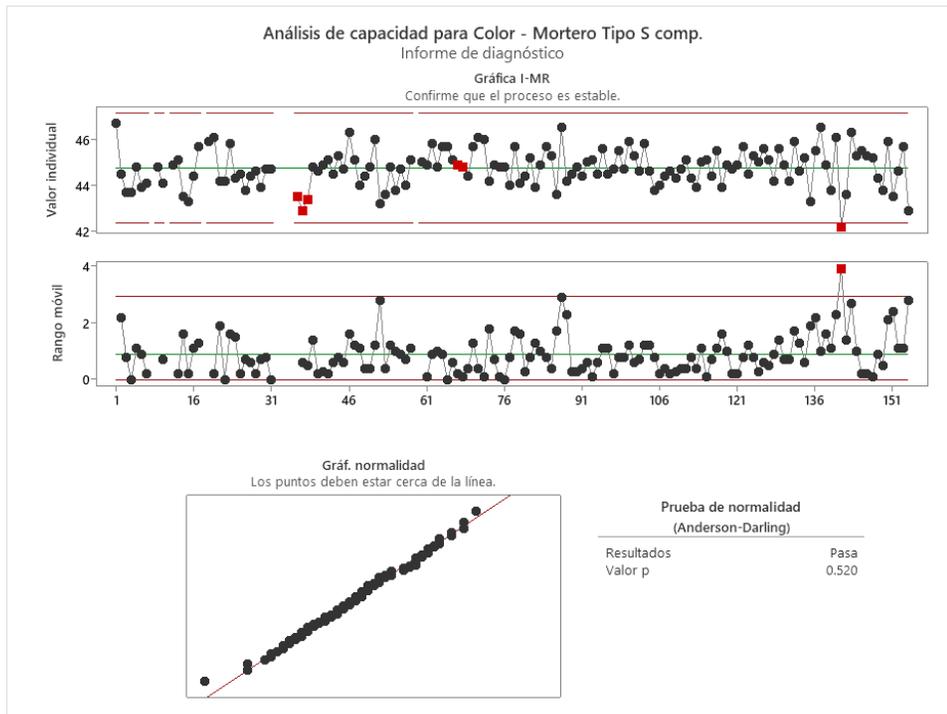
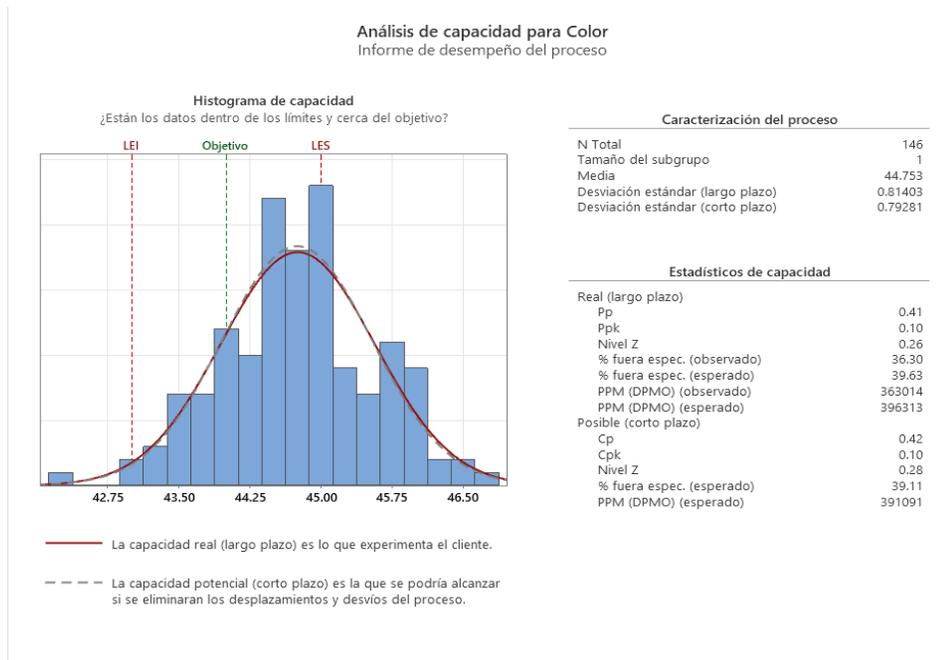
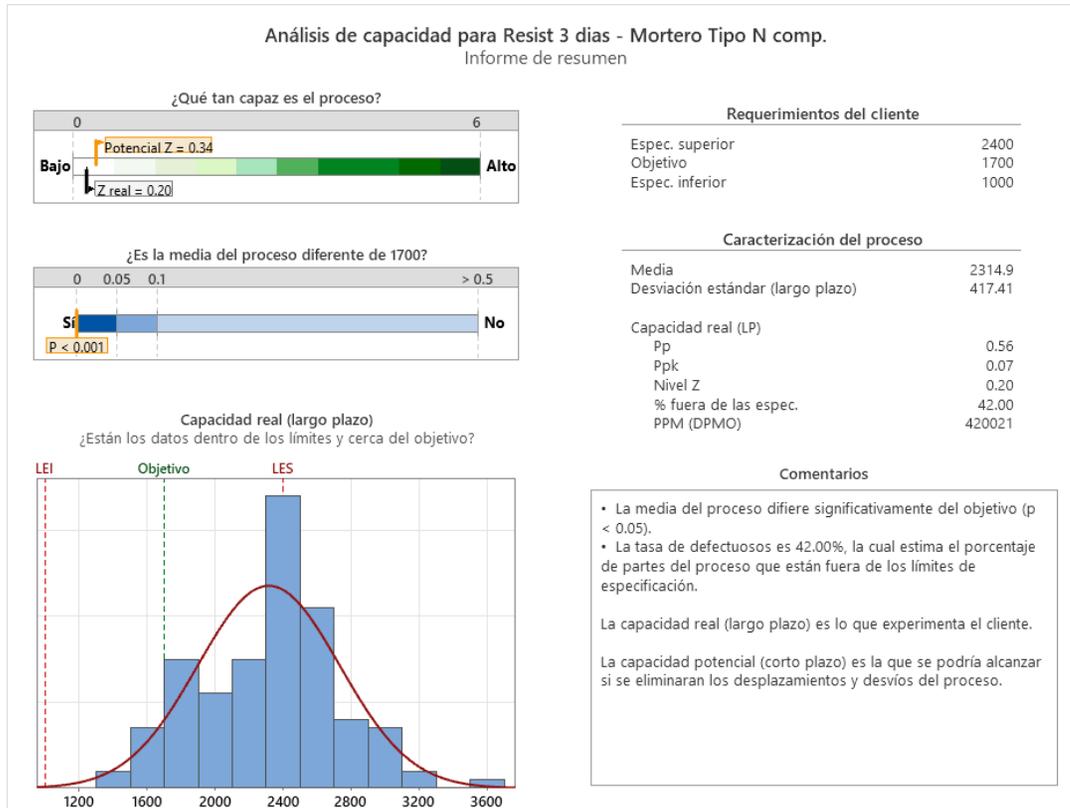


Figura 45. Informe de desempeño de proceso con Estadísticos de capacidad de proceso para Color del producto Mortero Tipo S.



5.9.3 Mortero Tipo N – Resistencias A 3 Dias – Compositos

Figura 46. Análisis de capacidad para Resistencias a 3 días – Mortero Tipo N- compositos



En Figura 46 se responden varias preguntas de la distribución de datos, el proceso no es “capaz” y la media difiere del objetivo. A continuación se listan más observaciones.

1. *FPY* – 58 % de la producción entra en los límites de especificación, a esto se le consideraría lo que se llama “*First Pass Yield*”, pero en realidad todo el producto pasa a ser vendible siempre y cuando sea mayor al límite de especificación inferior.
2. Nivel Sigma – dado que el valor DPMO es igual a 420,021, esto se traduce en un nivel sigma de 1.7, en si concluyendo que existe una alta variabilidad en las resistencias a 3 días en Mortero Tipo N, comparativamente menor al Tipo S, pero aún muy alta.

Ahora calculando los valores Z a partir de la media, desviación estándar y los límites de especificación el Nivel Sigma es:

$$Z_{LIE} = \frac{x_m - LIE}{s} = \frac{2314.9 - 1000}{417.41} = 3.150$$

Y

$$Z_{LSE} = \frac{LSE - x_m}{s} = \frac{2400 - 2314.9}{417.41} = 0.2039$$

Y las probabilidades

$$P(Z_l > Z_{LIE}) = P(Z_l > 3.150) = 0.0008 = 0.08\%$$

$$P(Z_u > Z_{LSE}) = P(Z_u > 0.2039) = 0.4207 = 42.07\%$$

$$P_{total} = 0.4207 + 0.0008 = 0.4215 \gggg Z = \text{Nivel Sigma} = 0.20$$

$$\text{Nivel Sigma es} = 0.20 + \text{shift} = 0.20 + 1.5 = 1.70$$

Concluyendo que el Nivel sigma es 0.20 a corto plazo y 1.70 a largo plazo, la probabilidad que la resistencia este fuera de especificación es 42.15% por lo que el *First Pass Yield* es 57.93%.

Figura 47. Graficas I-MR y Prueba de Normalidad de las Resistencias a 3 días de Mortero Tipo N – compositos.

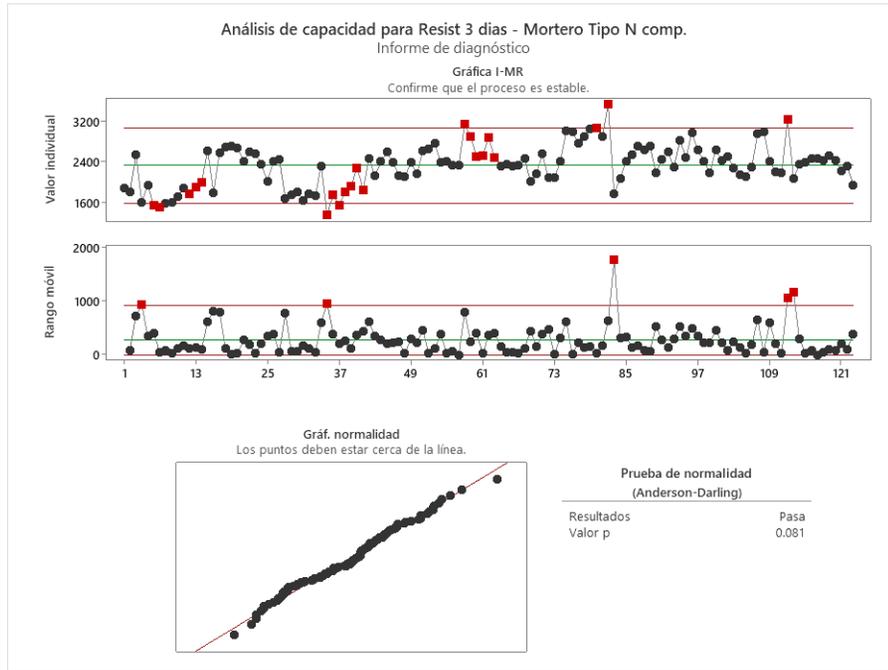
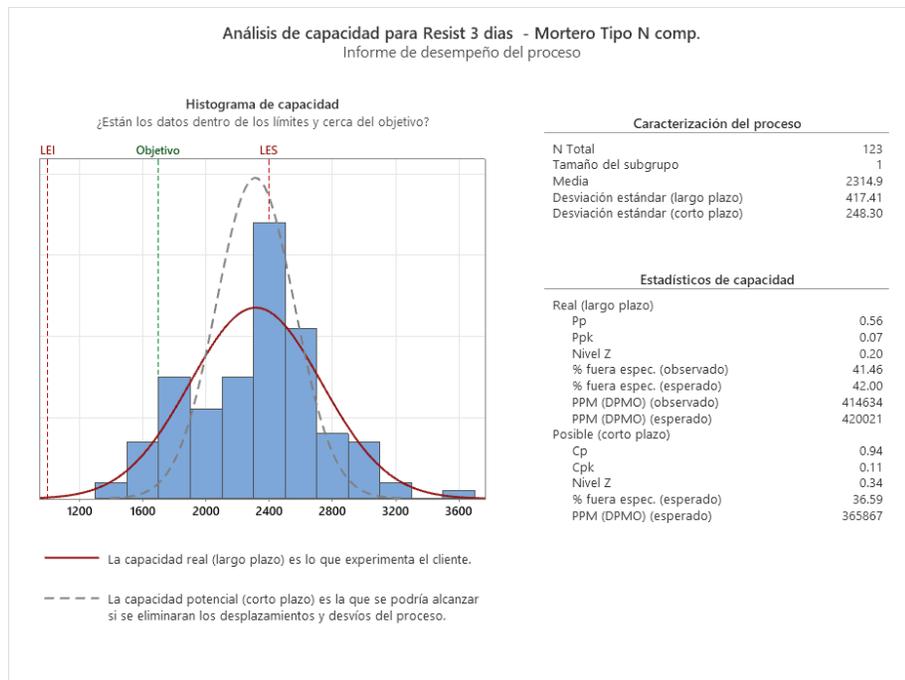
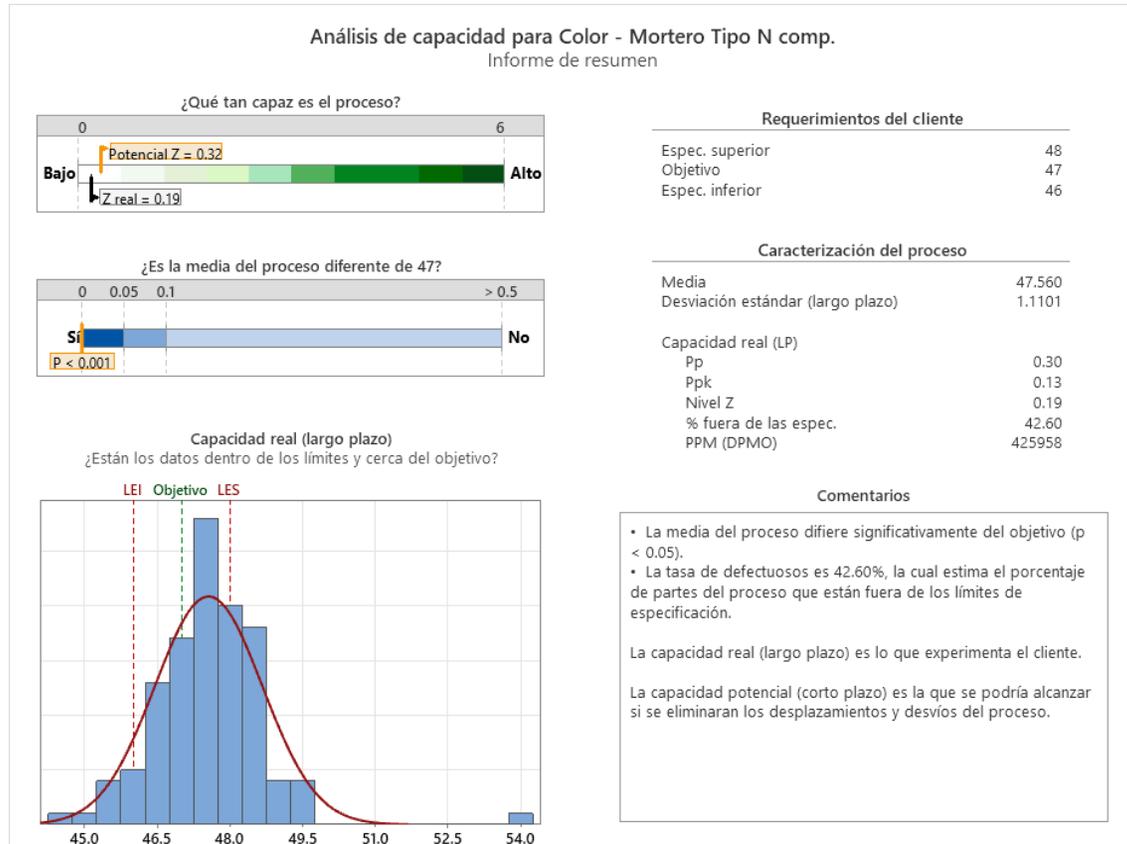


Figura 48. Informe de desempeño de proceso con Estadísticos de capacidad de proceso de las Resistencias a 3 días del producto Mortero Tipo N.



5.9.4 Mortero Tipo N – Color – Compositos

Figura 49. Análisis de capacidad para Color en Mortero Tipo N- compositos



1. *FPY* – 57.40% de la producción entra en los límites de especificación, a esto se le consideraría lo que se llama “*First Pass Yield*”, con la observación igual al tipo S, el Color no se controla de manera efectiva.
2. Nivel Sigma – dado que el valor DPMO es igual a 425,958, esto se traduce en un nivel sigma de 1.7, en si concluyendo que existe una alta variabilidad en el Color en Mortero Tipo N.

Ahora calculando los valores Z a partir de la media, desviación estándar y los límites de especificación el Nivel Sigma es:

$$Z_{LIE} = \frac{x_m - LIE}{s} = \frac{47.56 - 46}{1.1101} = 1.4053$$

Y

$$Z_{LSE} = \frac{LSE - x_m}{s} = \frac{48 - 47.56}{1.1101} = 0.3964$$

Y las probabilidades

$$P(Z_I > Z_{LIE}) = P(Z_I > 1.4053) = 0.0799 = 7.99\%$$

$$P(Z_U > Z_{LSE}) = P(Z_U > 0.3964) = 0.346 = 34.6\%$$

$$P_{\text{total}} = 0.346 + 0.0799 = 0.4259 \gggggg Z = \text{Nivel Sigma} = 0.19$$

$$\text{Nivel Sigma es} = 0.19 + \text{shift} = 0.19 + 1.5 = 1.69$$

Concluyendo que el Nivel sigma es 0.19 a corto plazo y 1.69 a largo plazo, la probabilidad que el color este fuera de especificación es 42.59% por lo que el *First Pass Yield* es 57.41%.

Figura 50. Graficas I-MR y Prueba de Normalidad del Color en Mortero Tipo N – compositos.

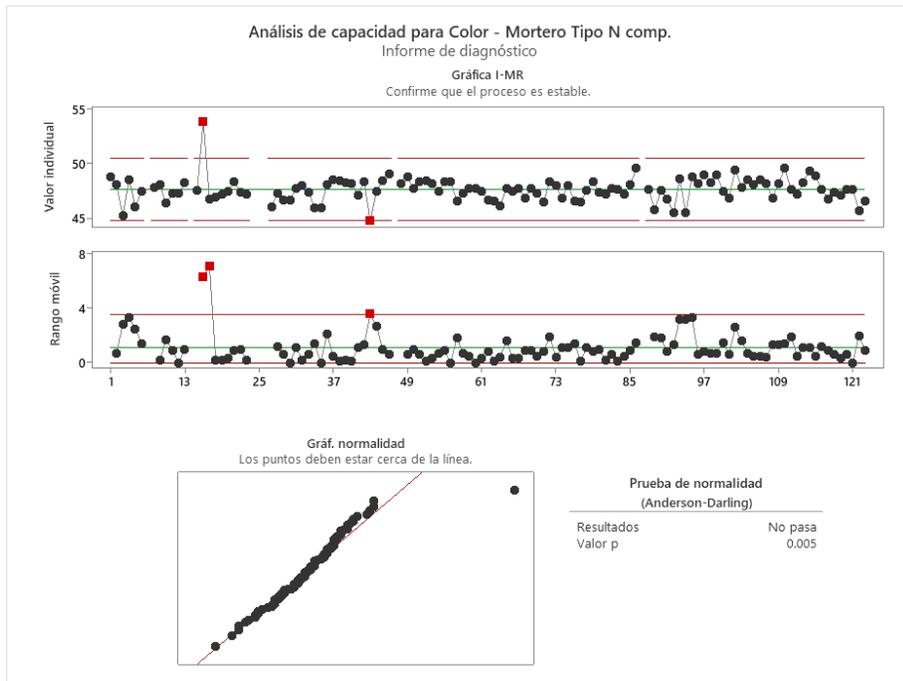
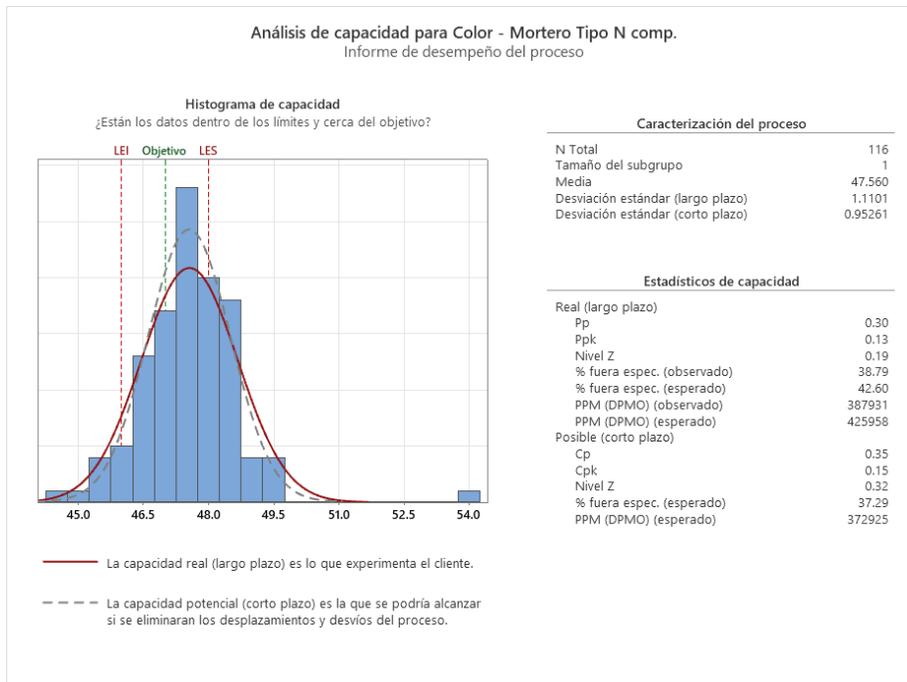


Figura 51. Informe de desempeño de proceso con Estadísticos de capacidad de proceso de las Resistencias a 3 días del producto Mortero Tipo N.



5.10 5 puntos de Vista

Autopsia

Hay evidencia suficiente para concluir que tanto las resistencias a 3 días como el color presentan alta variación, con una alta cantidad de unidades defectuosas y que el proceso actual definido como tal no es capaz de producir consistentemente la calidad especificada.

Defectos:

- a. Alta resistencia y color controlado
- b. Baja resistencia y color controlado
- c. Alta resistencia y color fuera de control

Fuentes de defectos

- d. La resistencia se ve afectada principalmente por la cantidad de caliza.
 - i. Si Caliza alta entonces Resistencia bajará
 - ii. Si Caliza baja entonces Resistencia subiráEsto es revisado haciendo las pruebas físicas en los compositos.
- e. El color es corregido por medio de la proporción de caliza
 - i. Si Color bajo entonces se adiciona caliza
 - ii. Si Color alto entonces se sustrae calizaEsto es controlado de manera horaria.

Productos afectados:

Ambos Morteros sufren el mismo tipo de defectos.

Ocurrencia

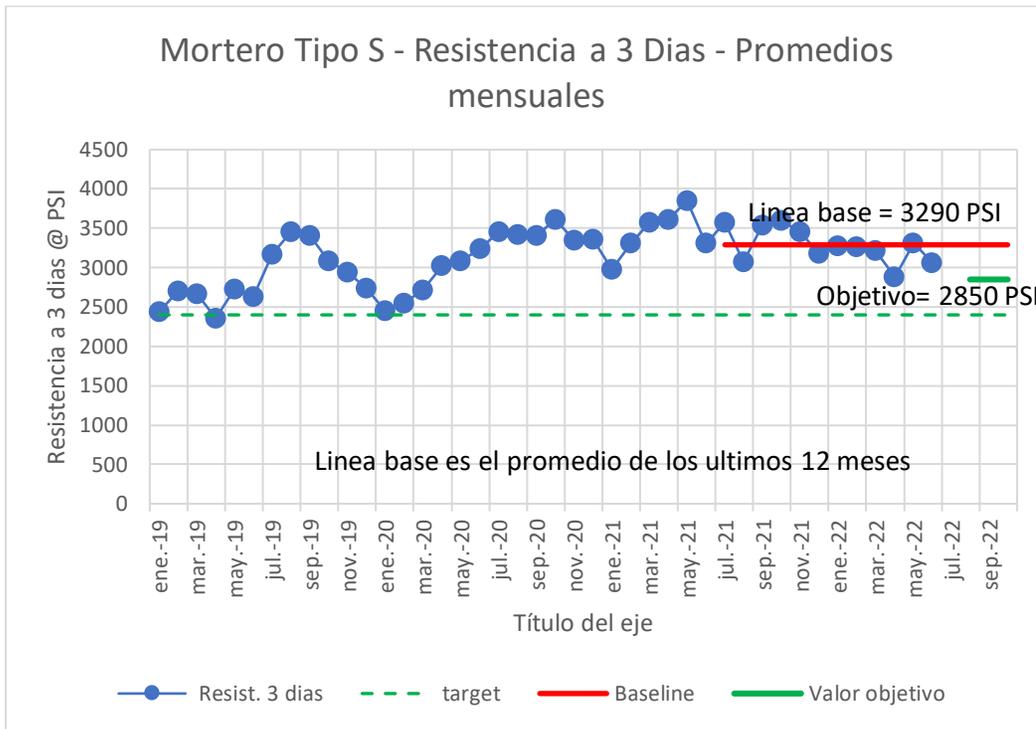
La producción de Mortero se programa en base a la cantidad a producir para llenar por lo menos 3 silos de 1200 toneladas, esto implica producir por lo menos 3 días, divididos en 3 turnos por día, en el cual grupos de 4 personas, un operador que se encarga de controlar proceso, y 3 técnicos que mantienen los materiales y los equipos trabajando continuamente, así como resolver problemas de proceso, por lo cual existen factores relacionados con materiales, mano de obra, métodos, maquinaria, y medio ambiente que pueden afectar el control de calidad del producto en cualquier momento durante la producción.

5.11 Definición del problema

En base a la información recolectada en esta fase de medición el problema a resolver es como producir consistentemente productos con mejor nivel de variación y que cumplan las especificaciones definidas, enfocando el esfuerzo en las resistencias de compresión y manteniendo el color.

Determinación de línea base y valores objetivo-iniciales.

Figura 52. Mortero Tipo S – Resistencias a 3 días con línea base y valor objetivo inicial.



Mortero Tipo S – Resistencias a 3 días con línea base y valor objetivo inicial.

En figura 52 se indica el paso inicial de mejora para Mortero Tipo S.

Resistencia a 3 días en Mortero Tipo S:

- Línea base en 3290 PSI
- Valor objetivo del estudio es 2850 PSI

Figura 53. Desviación estándar mensual en resultados de Resistencias a 3 días – Mortero Tipo S – periodo Enero 2019 a Junio 2022.

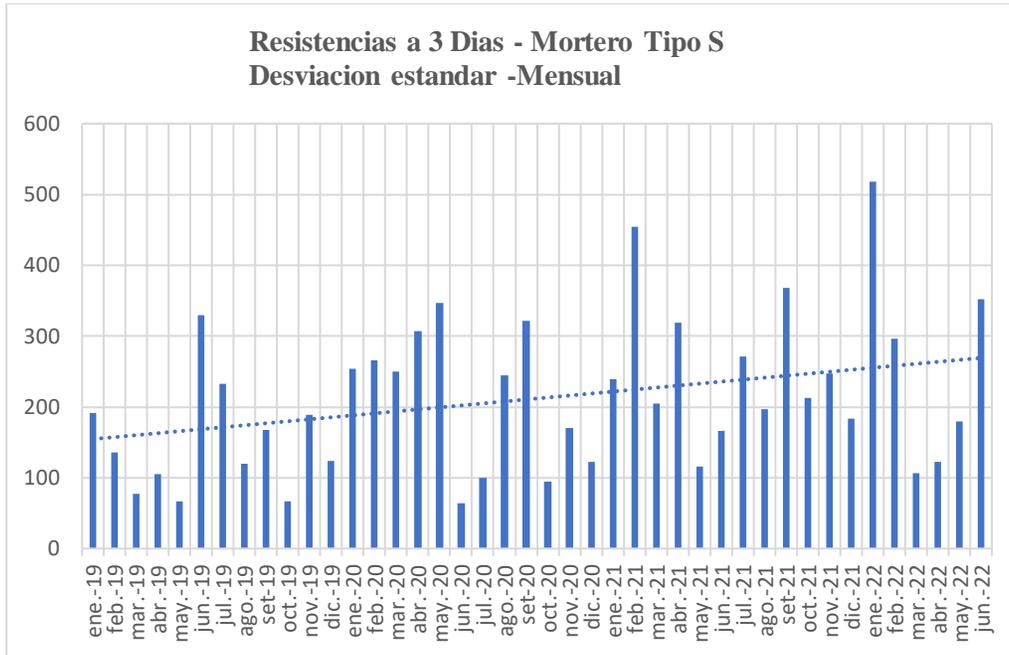


Figura 54. Histograma de frecuencias de la desviación estándar mensual de las Resistencias a 3 días en Mortero Tipo S, periodo Enero 2019 a Junio 2022.

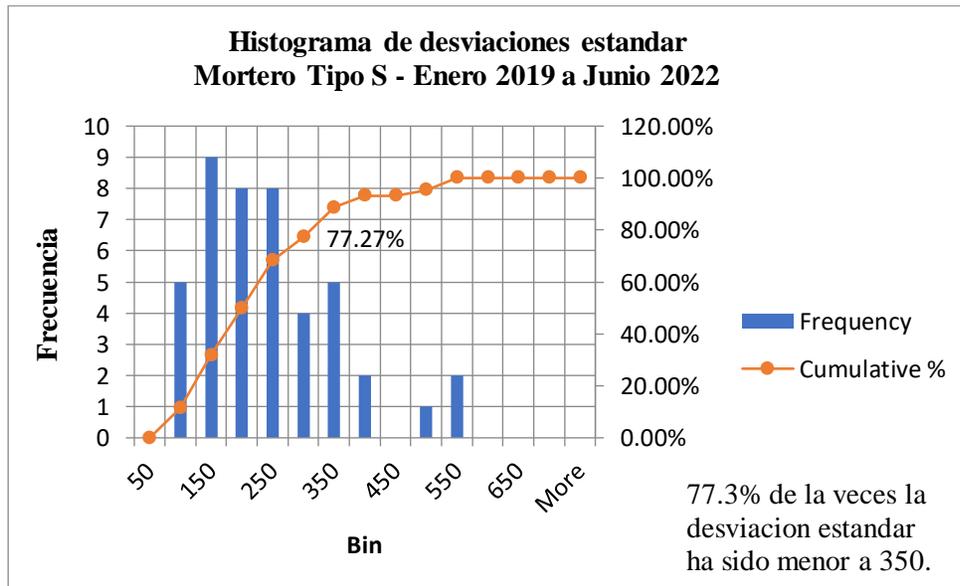
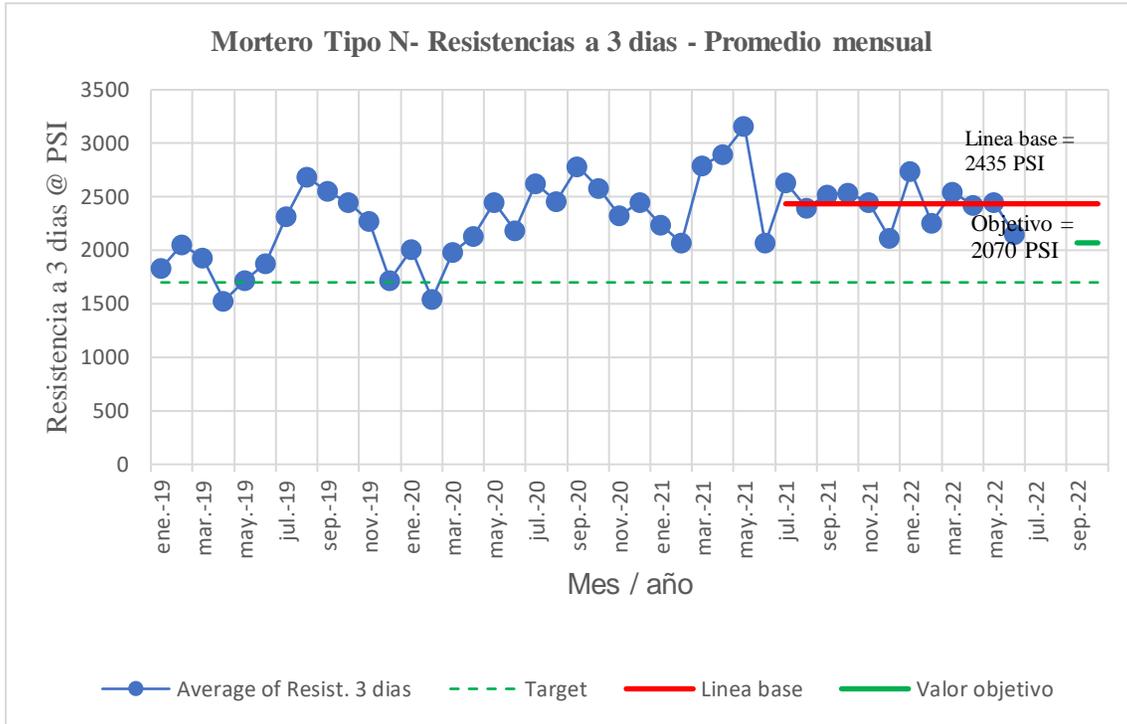


Figura 55. Mortero Tipo N – Resistencias a 3 días con línea base y valor objetivo inicial.



En figura 55 se indica el paso inicial de mejora para Mortero Tipo N.

Resistencia a 3 días en Mortero Tipo N:

- Línea base en 2435 PSI
- Valor objetivo del estudio es 2070 PSI

Figura 56. Desviación estándar mensual en resultados de Resistencias a 3 días – Mortero Tipo N – periodo Enero 2019 a Junio 2022.

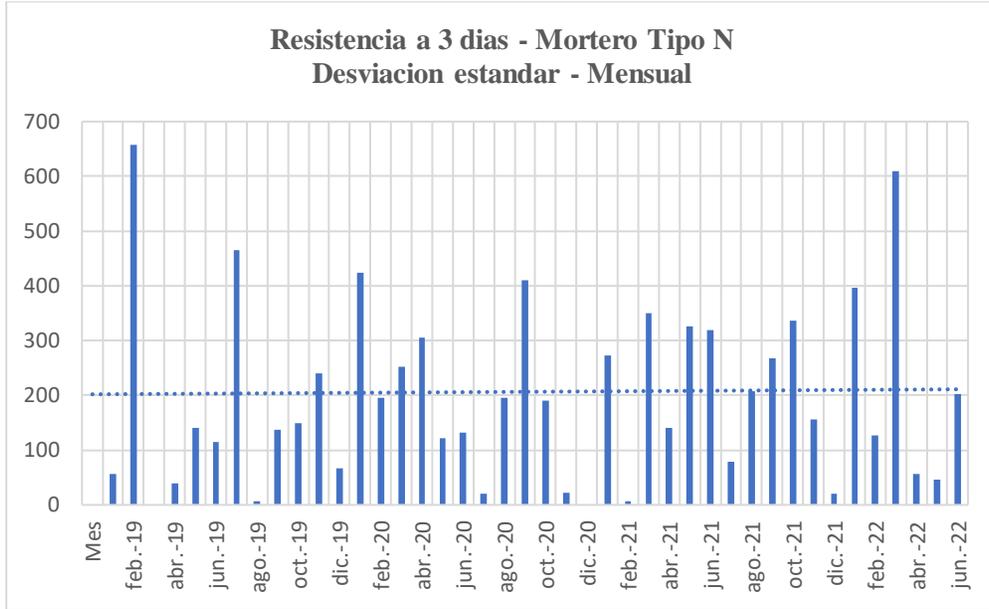
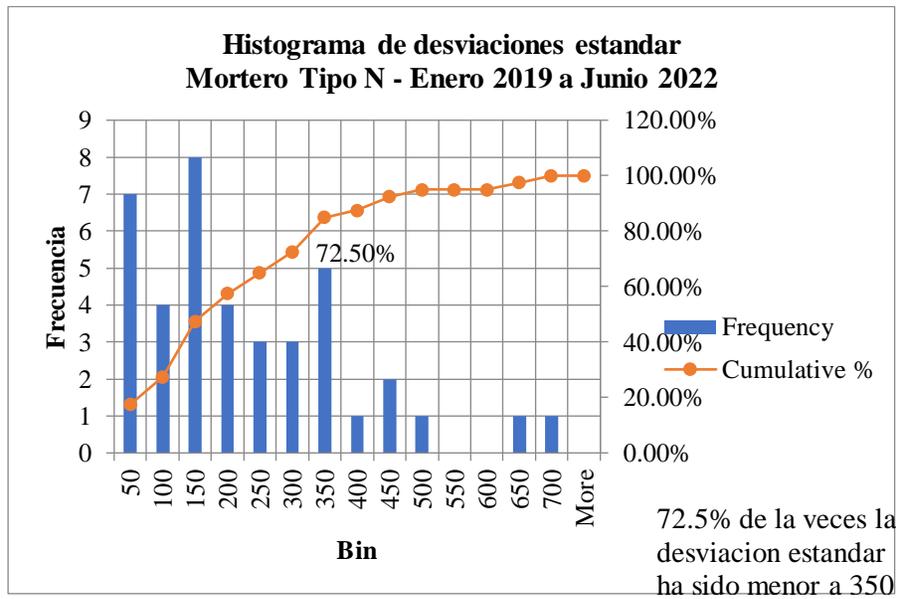


Figura 57. Histograma de frecuencias de la desviación estándar mensual de las Resistencias a 3 días en Mortero Tipo N, periodo Enero 2019 a Junio 2022.



Estrategia de control:

1. Mantener % de Caliza en un rango fijado por producto y que será monitoreado con la perdida por ignición en el cemento.
2. Medir Color y verificar usando los parámetros L, a y b.
3. Monitorear la caliza utilizada en el proceso
4. Mantener los alimentadores de materiales

Figura 58. Gráfico de tendencias de uso de materiales para producir Mortero Tipo S.

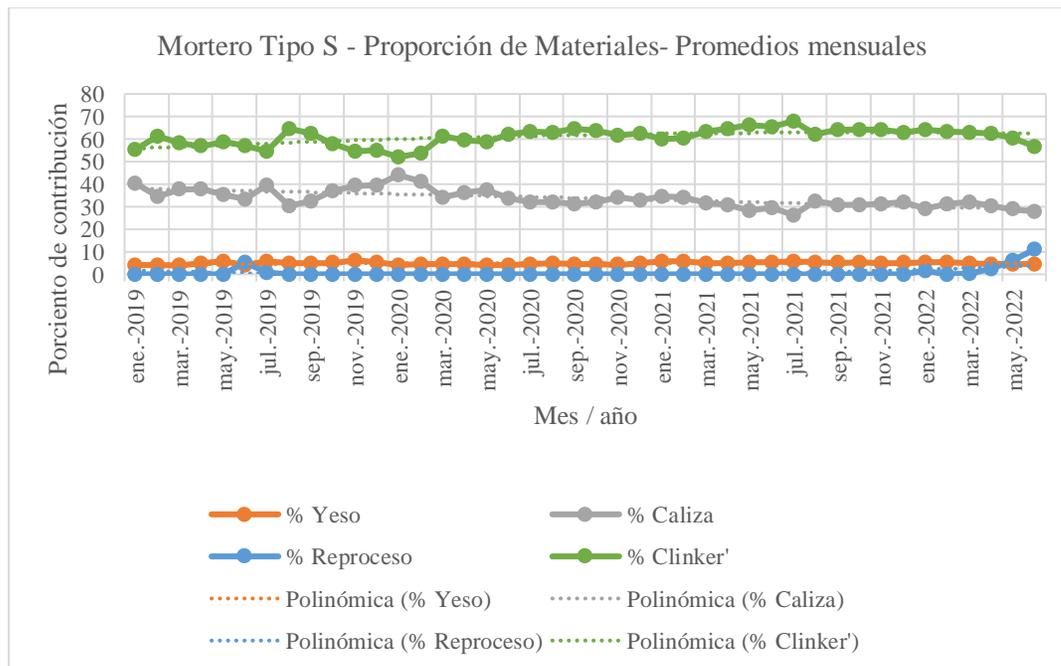
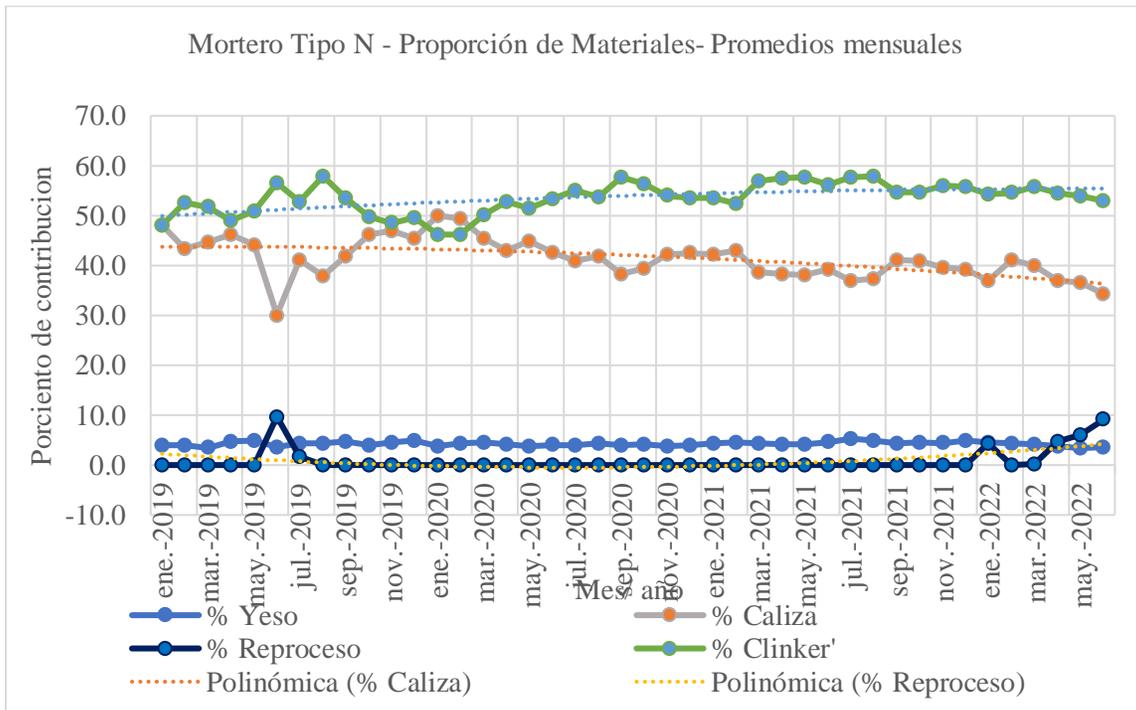


Figura 59. Gráfico de tendencias de uso de materiales para producir Mortero Tipo N.



(Figs. 58 y 59) El % de caliza se ha visto disminuido en ambos productos, esto por mantener control de color, pero también ha mantenido las resistencias altas, se espera poder aumentarla en un 4% en cada producto.

Adicionalmente se espera aumentar la producción, pero esto dependerá de los resultados iniciales.

Figura 60. Gráfico de tendencias de producción por hora – Mortero Tipo S – Promedios mensuales – periodo Enero 2019 a Junio 2022.

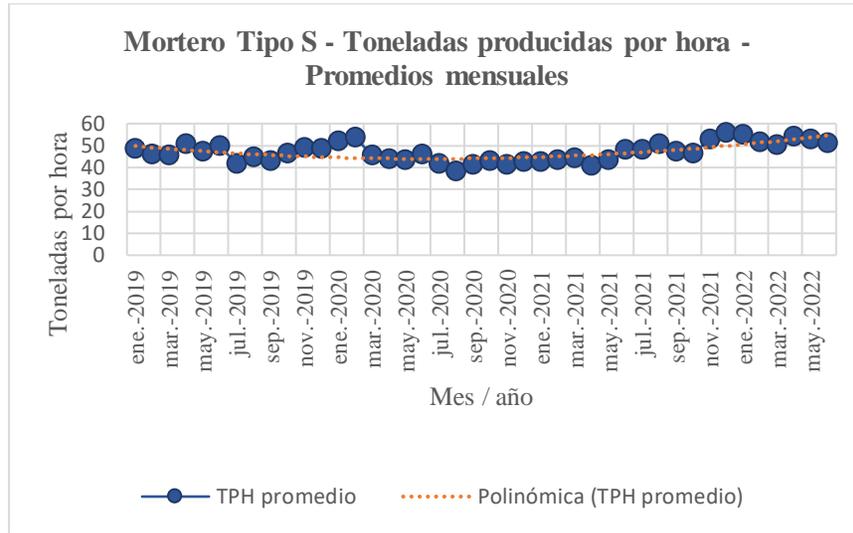
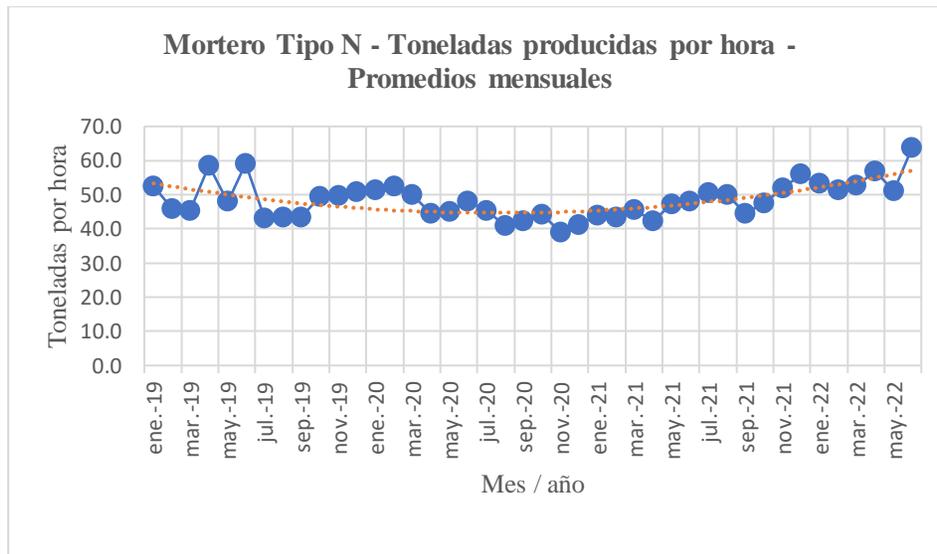


Figura 61. Gráfico de tendencias de producción por hora – Mortero Tipo N – Promedios mensuales – periodo Enero 2019 a Junio 2022.



5.12 Conclusiones

1. Los sistemas de medición: La determinación de color es confiable dada la mínima variación en la repetibilidad y reproducibilidad, sin embargo, se recomienda dar entrenamiento efectivo en el correcto procedimiento de realización. El método de resistencias se ha evaluado cada 6 meses con pruebas comparativas de desempeño, logrando excelentes resultados.
2. Los datos de resistencia en ambos Morteros (N y S) presentan inestabilidad dado que se encuentran claustrros y tendencias, así también se encuentran violaciones a varias reglas de control de proceso que concluyen que el proceso no está controlado.
3. El color en ambos productos es estable en general para la mayoría de los datos, y los procesos están controlados, pero con oportunidad de mejora.
4. Los niveles Sigma obtenidos muestran que tanto para color y resistencia se tienen valores bajos del orden de 1 a 1.7 que denotan un proceso con alta variación y que no es capaz de producir de acuerdo con los límites especificados.

CAPITULO 6 – ETAPA DE ANÁLISIS

6 Análisis y desarrollo de relaciones



6.1 Introducción:

De Carlo (2007, pg. 154) nos comenta que la fase de Análisis de DMAIC es donde se exponen todas variables potenciales que pueden provocar que las dependientes Y se desempeñen debajo del nivel deseado, así también es la etapa en que se investiga que tan significativas son las variables x, y finalmente definir cuáles son más críticas y poderosas para determinar el comportamiento de las variables Y.

Los puntos clave a determinar en esta fase son (Brue,2005, pg. 18)

1. Estado del proyecto
2. Grafica de métricas
3. Uso de herramientas para demostrar competencia
4. La solución o soluciones
5. Planes de mejora y siguientes pasos
6. Cuantificación de los planes de mejora
7. Revisión del proyecto
8. Lista de factores causales significativos.

6.2 Diagrama de Causa – Efecto (Ishikawa)

Los diagramas de causa efecto ilustran la relación entre las características y las causas que por razones técnicas son las que influyen sobre el proceso, y si se utilizan en conjunto con otras herramientas son útiles para promover la mejora. (Ishikawa, 1994, pg. 252.)

(Ver Fig. 62) Las causas potenciales se agrupan dentro de características generales que son: Materiales, Métodos, Medidas, Maquinas y Mano de obra.

6.3 Diagramas de Árbol – Fallas

Los diagramas de árbol de fallas son una herramienta analítica deductiva que son usados generalmente en confiabilidad y análisis de seguridad de sistemas dinámicos complejos, los componen una serie de bloques lógicos que muestran el estado de un sistema, un evento principal en función de sus componentes (eventos básicos). (Stamatis, 2014, pg.125)

El sistema en nuestro caso es el molino de producción de mortero y los eventos principales a estudiar son:

1. Color fuera de límites – o falla a tener Color dentro de especificaciones.
2. Resistencias fuera de especificaciones

Hemos encontrado que tanto el color como las resistencias dependen en cierto grado de la composición de la mezcla de materiales, la resistencia depende también de la reactividad del Clinker y de los parámetros de operación del molino que muelen y seleccionan la distribución de partículas óptima.

Los diagramas de árbol son un paso inicial para definir las relaciones entre causas y efectos y posterior clasificación de riesgo con base a la severidad, la ocurrencia y la detección, atribuido y documentado en un FMEA, así como las acciones para minimizar los riesgos.

Beneficios (Stamatis, 2014, pg.125):

1. Ayuda a representar gráficamente un análisis
2. Ayuda a identificar la confiabilidad de un sistema
3. Puede determinar la probabilidad de ocurrencia de cada causa raíz.
4. Provee evidencia documentada del cumplimiento con requerimientos.
5. Estudia los impactos de cambios de diseño y alternativas
6. Provee opciones para los análisis cualitativos y cuantitativos de la confiabilidad de un sistema.
7. Permite al analista el concentrarse en falla del sistema de una vez.

8. Provee dirección en el comportamiento de un sistema.
9. Aísla fallas críticas
10. Identifica las formas en una falla puede terminar en un incidente.

A continuación, se muestra el caso de Alamo Cement y los árboles de falla para Color y Resistencia a 3 días.

Figura 63. Diagrama de árbol de fallas para el problema de color fuera de limites

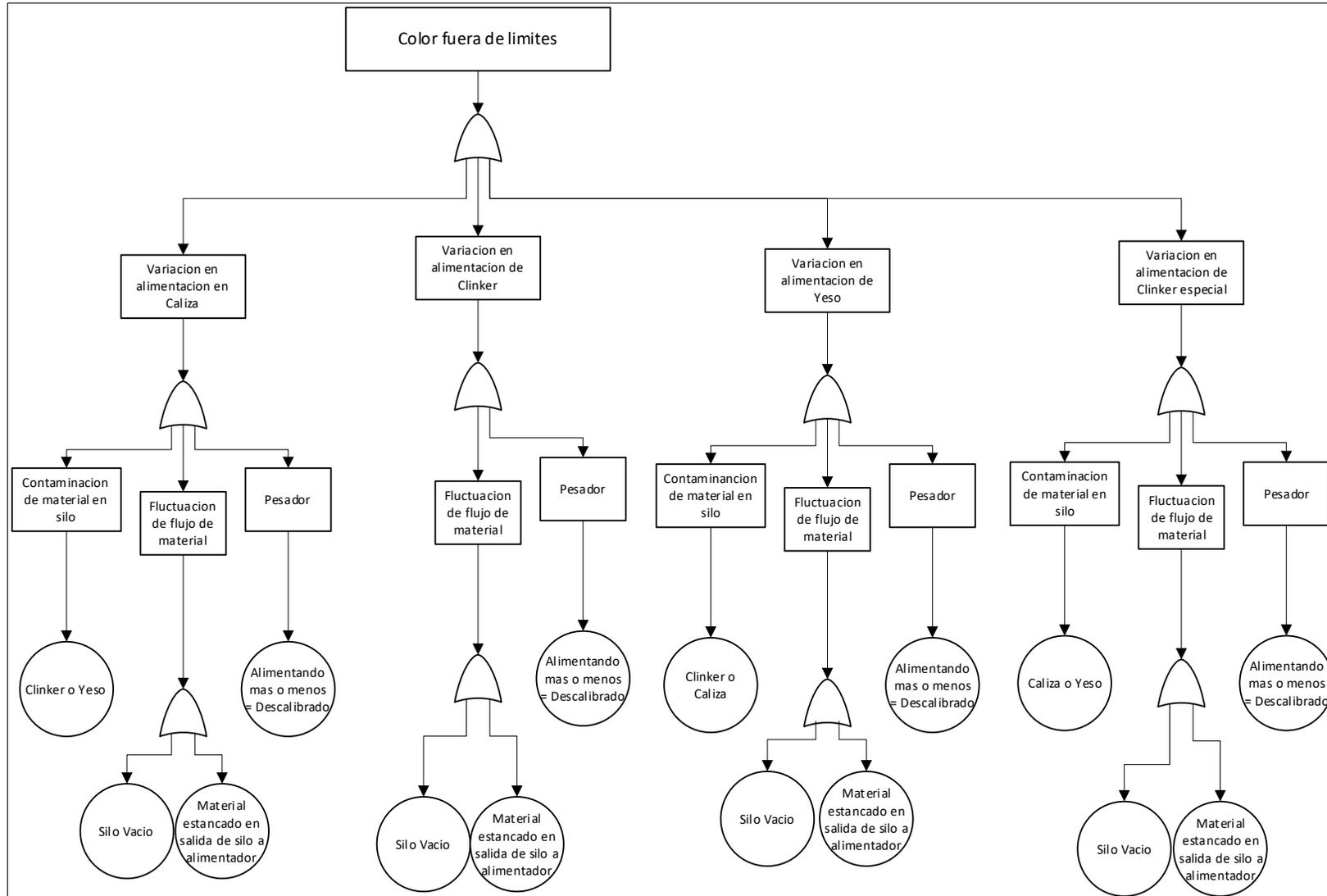


Figura 64. Diagrama de árbol de fallas para el problema de resistencias fuera de especificaciones. Parte 1.

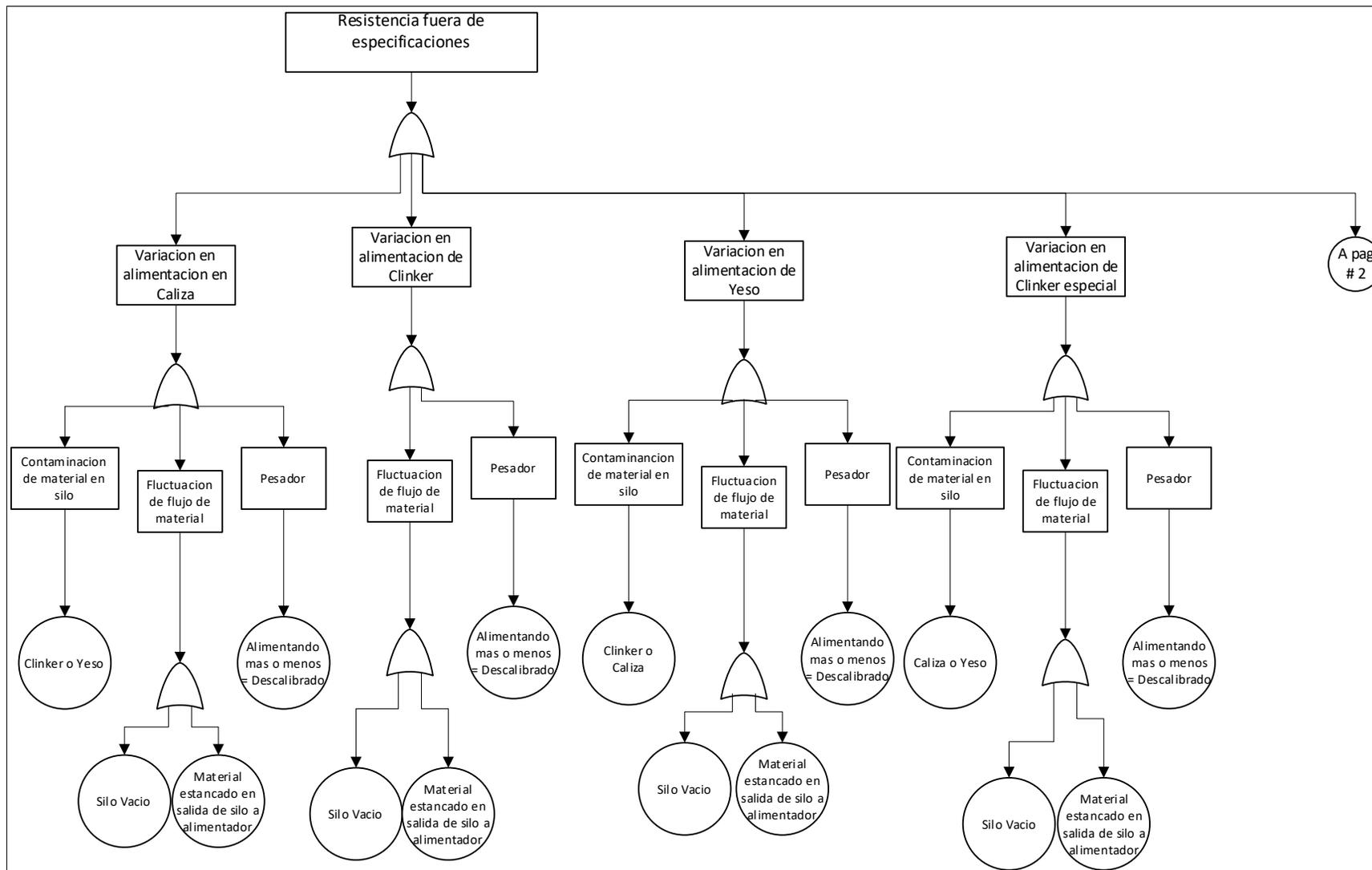
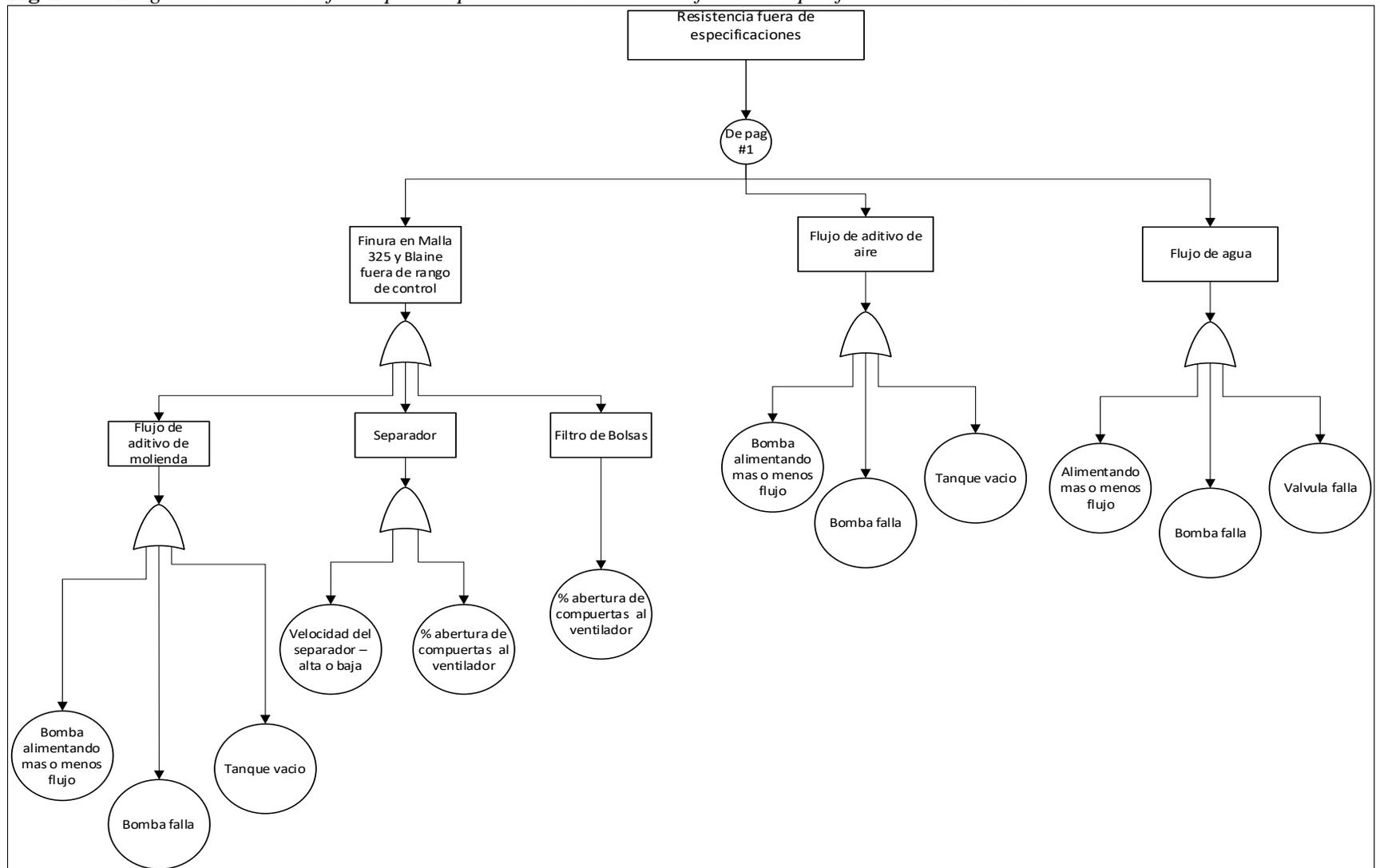


Figura 65. Diagrama de árbol de fallas para el problema de resistencias fuera de especificaciones. Parte 2.



6.4 Matriz de Causa Efecto

La matriz de causa efecto o matriz X-Y, es utilizada para cuantificar y dar prioridad a los impactos de las causas sobre los efectos mediante una calificación numérica. (Jing, 2008, pg. 22)

Según George (2005,148), su propósito es identificar las entradas de proceso a las que se debe poner atención para mejorar las variables de salida.

Es similar al diagrama Ishikawa, pero esta herramienta se usa para determinar qué efectos tienen las variables de entrada y salida sobre las prioridades del cliente, y así enfocar las acciones de mejora.

Pasos para crear una Matrix X-Y (George,2005,148)

1. Identificar los requerimientos clave de los clientes, obtenidos del mapa de proceso o de estudios de Voz del Cliente, tratando de elegir como máximo los 5 más importantes.
2. Asignar a cada requerimiento una calificación de prioridad, usualmente en escala de 1 al 10, siendo el 10 asignado al más significativo.
3. Identificar todos los pasos y las entradas clave del mapa de proceso y enlistarlas al lado izquierdo de la matriz.
4. Calificar cada entrada contra el requerimiento, basándose en que tan fuerte relación tienen.

Usar la siguiente escala:

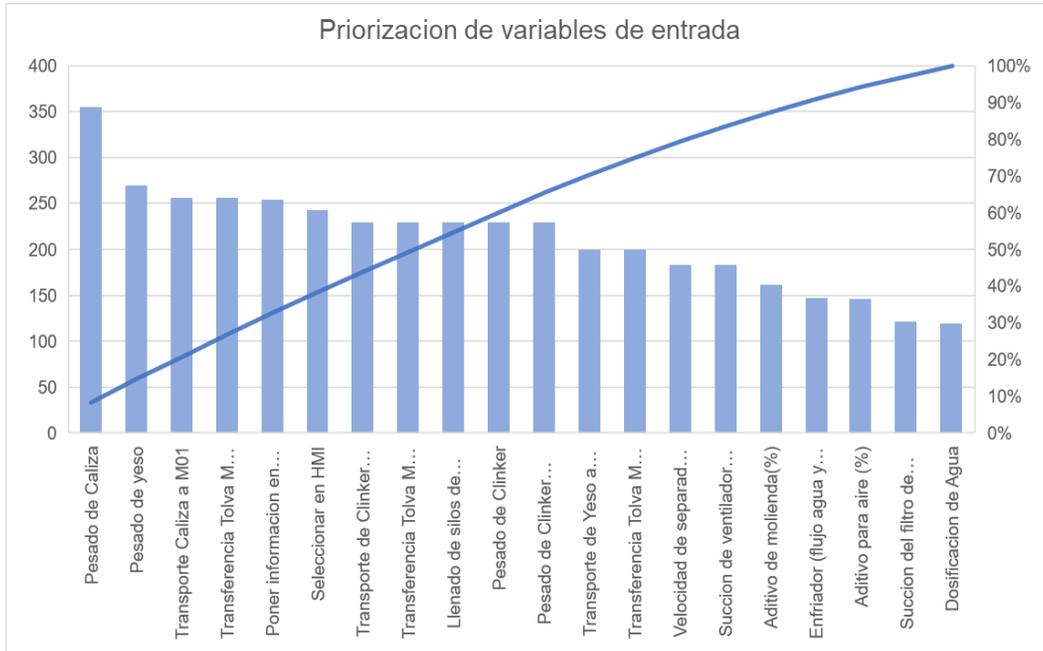
- a. En blanco = no correlación
 - b. 1 = Correlación remota
 - c. 3 = Correlación moderada
 - d. 4 = Fuerte correlación
2. Multiplicar cruzado las calificaciones de correlación con los valores de prioridad y añadir el resultado para cada entrada.
 3. Crear una gráfica de Pareto y enfocar el esfuerzo en las calificaciones más altas.

Tabla 16. Matriz de causa efecto de la producción de morteros en Alamo Cement

Matriz de Causa - efecto

		Calificacion de Importancia para el cliente	10	10	7	7	3	
			1	2	3	4	5	
			Color Montero N	Color Montero S	Resistencia 3Dias Montero N	Resistencia 3Dias Montero N	Fraguado Inicial	Total
	Paso del proceso	Entrada del proceso						
	Definir plan de produccion							
1	Alimentacion de materiales a silos	Transporte Caliza a M01	10	10	3	3	5	257
2		Transferencia Tova M01 a Silo de Caliza	10	10	3	3	5	257
3		Transporte de Yeso a M01	5	5	5	5	10	200
4		Transferencia Tova M01 a Silo de Yeso	5	5	5	5	10	200
5		Transporte de Clinker Intemperizado a M01	3	3	10	10	10	230
6		Transferencia Tova M01 a Silo de Clinker Especial"	3	3	10	10	10	230
7		Llenado de silos de Clinker	3	3	10	10	10	230
8	Definir las proporciones de materiales del producto y el objetivo de toneladas a producir por hora	Poner informacion en HMI	5	5	10	10	5	255
9	Seleccionar la ruta hacia silo definido	Seleccionar en HMI	5	5	10	10	1	243
10	Alimentacion de materiales a molino	Pesado de Caliza	10	10	10	10	5	355
11		Pesado de yeso	5	5	10	10	10	270
12		Pesado de Clinker	3	3	10	10	10	230
13		Pesado de Clinker "especial"	3	3	10	10	10	230
14	Molienda de Cemento	Dosificacion de Agua	1	1	5	5	10	120
15		Aditivo de molienda(%)	1	1	8	8	10	162
16		Aditivo para aire (%)	1	1	8	8	5	147
17		Succion del filtro de bolsas (% abertura de persiana)	1	1	6	6	6	122
18	Separacion/ Clasificacion	Velocidad de separador (Revoluciones por minuto)	1	1	10	10	8	184
19		Succion de ventilador de separador (% persiana)	1	1	10	10	8	184
20	Enfriamiento	Enfriador (flujo agua y temperatura)	1	1	7	7	10	148
Total			660	660	910	910	432	
	Lower Spec		43	48	2800	2400	100	
	Target		44	47	2400	1700	150	
	Upper Spec		45	46	2000	1000	200	

Figura 66. Pareto de priorización de las entradas del proceso, siendo mayor prioridad la pesada de Caliza y Yeso, y en segunda instancia la correcta provisión de Caliza.



En la Figura 66 se observa que los factores más críticos de fallas están relacionados con el pesaje correcto y el sistema de transporte de materiales a silos.

6.5 FMEA (Análisis del Modo y Efecto de Fallas)

De acuerdo con Pande (2000, pg. 370), FMEA es un guía para identificar y priorizar problemas o fallas potenciales, así un equipo de trabajo puede poner su energía y recursos en planes de prevención, monitoreo y respuesta donde den mejores resultados, sus aplicaciones van no solamente a buscar problemas en los procesos de trabajo sino también en las actividades de recolección de datos, voz del cliente, procedimientos y aun en el despliegue de iniciativas.

Pasos para desarrollar un FMEA

1. Identificar el proceso, producto o servicio
2. Listar los problemas potenciales que pueden pasar en grupo, y siempre preguntarse “¿Qué puede salir mal?”, así también evite alguna trivialidad.
3. Calificar el problema por Severidad, probabilidad de ocurrencia y detectabilidad.
4. Calcular el Numero de prioridad de riesgo (RPN), y priorizar acciones.
5. Desarrollar acciones para reducir el riesgo.

A continuación, en la Tabla 17 se muestra el FMEA del proceso de producción de Morteros.

Se concluye también que dada su calificación RPN, los factores más críticos de fallas están relacionados con el pesaje correcto y el sistema de transporte de materiales a silos.

Tabla 17. Análisis de modo y efecto de la falla (FMEA) de la producción de mortero.

Manufactura de Morteros Tipo N y S				Preparado por: Ricardo Rios		Pagina ___1___ de ___1___									
Ricardo Rios				FMEA Fecha (Orig) _____09/21/22_____ (Rev) _____											
Modo de falla potencial	Efectos de fallas potenciales	SEV	Causas potenciales	OCC	Controles actuales	DET	RPN	Acciones recomendadas	Resp.	Acciones implementadas	SEV	OCC	DET	RPN	
Transferencia de caliza desde M01 a silo equivocado- contaminación de yeso	Descontrol de SO3	5	Sistemas de comunicacion no efectivas	6	Comunicaciones via radio para coordinar la trasferencia con operador de traxcavo, tambien existencia de ayudas visuales. Rayos X como detector de fallas.	1	30	Por derfinir	Por derfinir	Por derfinir				0	
Transferencia de caliza desde M01 a silo equivocado- contaminación de clinker especial	Descontrol de perdida por ignicion y color, en consecuencia se presentaria en pruebas fisicas	5	Sistemas de comunicacion no efectivas	6	Comunicaciones via radio para coordinar la trasferencia con operador de traxcavo, tambien existencia de ayudas visuales. Medicion de color y LOI como detector de fallas.	1	30	Por derfinir	Por derfinir	Por derfinir				0	
Transferencia de yeso desde M01 a silo equivocado- contaminación con clinker especial	Descontrol de color y SO3	5	Sistemas de comunicacion no efectivas	6	Comunicaciones via radio para coordinar la trasferencia con operador de traxcavo, tambien existencia de ayudas visuales. Rayos X y medicion de color como detector de fallas.	1	30	Por derfinir	Por derfinir	Por derfinir				0	
Transferencia de yeso desde M01 a silo equivocado- contaminación de caliza	Descontrol de SO3	5	Sistemas de comunicacion no efectivas	6	Comunicaciones via radio para coordinar la trasferencia con operador de traxcavo, tambien existencia de ayudas visuales. Rayos X como detector de fallas.	1	30	Por derfinir	Por derfinir	Por derfinir				0	
Transferencia de clinker especial desde M01 a silo equivocado - contaminación de caliza	Descontrol en LOI y uso de adicion	5	Sistemas de comunicacion no efectivas	6	Comunicaciones via radio para coordinar la trasferencia con operador de traxcavo, tambien existencia de ayudas visuales. Medicion de color y LOI como detector de fallas.	1	30	Por derfinir	Por derfinir	Por derfinir				0	
Transferencia de clinker especial desde M01 a silo equivocado - contaminación de yeso	Descontrol en SO3	5	Sistemas de comunicacion no efectivas	6	Comunicaciones via radio para coordinar la trasferencia con operador de traxcavo, tambien existencia de ayudas visuales. Rayos X como detector de fallas.	1	30	Por derfinir	Por derfinir	Por derfinir				0	
Pesado de Caliza	Variacion de calidad- Color, resistencias y tiempos de fraguado.	8	Descalibracion de bascula, tension de banda, pesaje impreciso por acumulacion de material. Efecto de material humedo.	7	Medicion de color cada 2 horas y perdida por ignicion cada turno. Resistencias y fraguado por campana	6	336	Calibracion de basculas por lo menos una vez al mes. Revisiones diarias de operacion.	Por derfinir	Por derfinir				0	
Pesado de Yeso	Variacion de calidad- Color, resistencias y tiempos de fraguado.	8	Descalibracion de bascula, tension de banda, pesaje impreciso por acumulacion de material.Efecto de material humedo.	7	Medicion de color cada 2 horas y perdida por ignicion cada turno. Resistencias y fraguado por campana	5	280	Calibracion de basculas por lo menos una vez al mes. Revisiones diarias de operacion.	Por derfinir	Por derfinir				0	
Pesado de Clinker	Variacion de calidad- Color, resistencias y tiempos de fraguado.	8	Descalibracion de bascula, tension de banda, pesaje impreciso por acumulacion de material.	7	Medicion de color cada 2 horas y perdida por ignicion cada turno. Resistencias y fraguado por campana	5	280	Calibracion de basculas por lo menos una vez al mes. Revisiones diarias de operacion.	Por derfinir	Por derfinir				0	
Pesado de Clinker especial	Variacion de calidad- Color, resistencias y tiempos de fraguado.	5	Descalibracion de bascula, tension de banda, pesaje impreciso por acumulacion de material.	7	Medicion de color cada 2 horas y perdida por ignicion cada turno. Resistencias y fraguado por campana	5	175	Calibracion de basculas por lo menos una vez al mes. Revisiones diarias de operacion.	Por derfinir	Por derfinir				0	

6.6 Estratificación de datos

Michalski (2003, pg. 190) explica que el método de estratificación separa un grupo de datos en subgrupos para encontrar el efecto de cada subgrupo en un patrón o condición anormal, sus aplicaciones típicamente son para aislar anomalías, seccionar y analizar distribuciones anormales, información para definir oportunidades de mejora e identificar la causa raíz de la variación.

En resumen, el propósito es encontrar relación entre variables de respuesta e independientes agrupándolos por características asociadas a las respuestas.

Ejemplos:

- Turnos
- Equipos
- Materiales
- Operarios
- Productos
- día de la semana
- etcétera

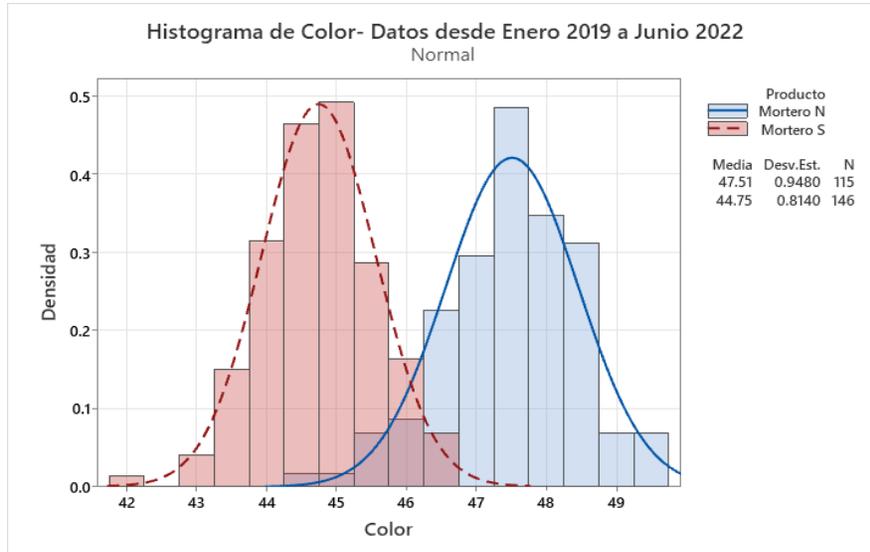
El procedimiento general es (Michalski, 2003, pg. 190):

1. Recolectar y verificar los datos a ser graficados.
2. Construir la carta de estratificación, la altura del eje vertical debe ser 75% de la longitud del eje horizontal.
3. Graficar los datos
4. Codifique los datos graficados, designe líneas y nombre los ejes de la gráfica.

Para nuestro estudio el punto que directamente importa es como las variables de calidad, el color y la resistencia, en principio se relacionan con los materiales para los productos que estamos investigando, que son Morteros Tipo N y S.

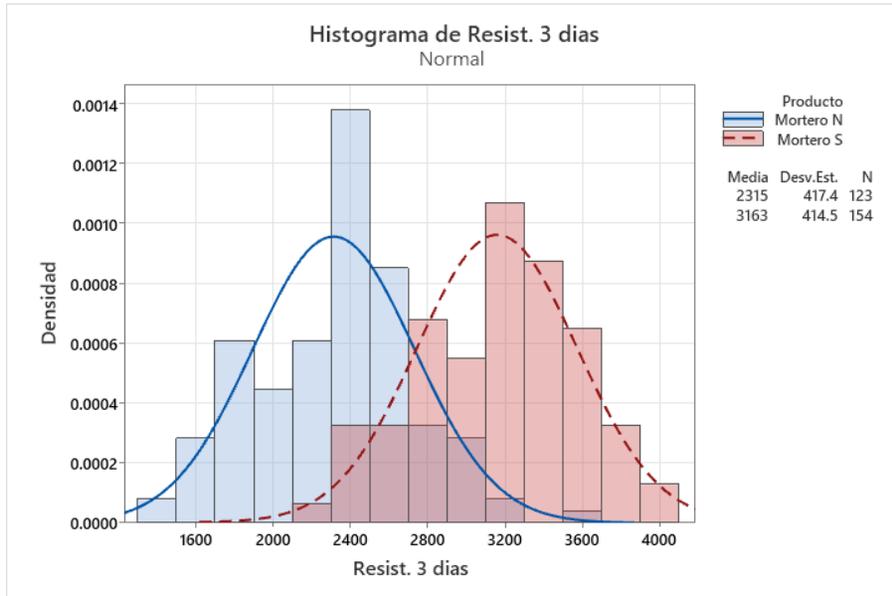
6.7 Frecuencias estratificadas

Figura 67. Distribución de las mediciones de Color en compositos de producción, ambos Morteros



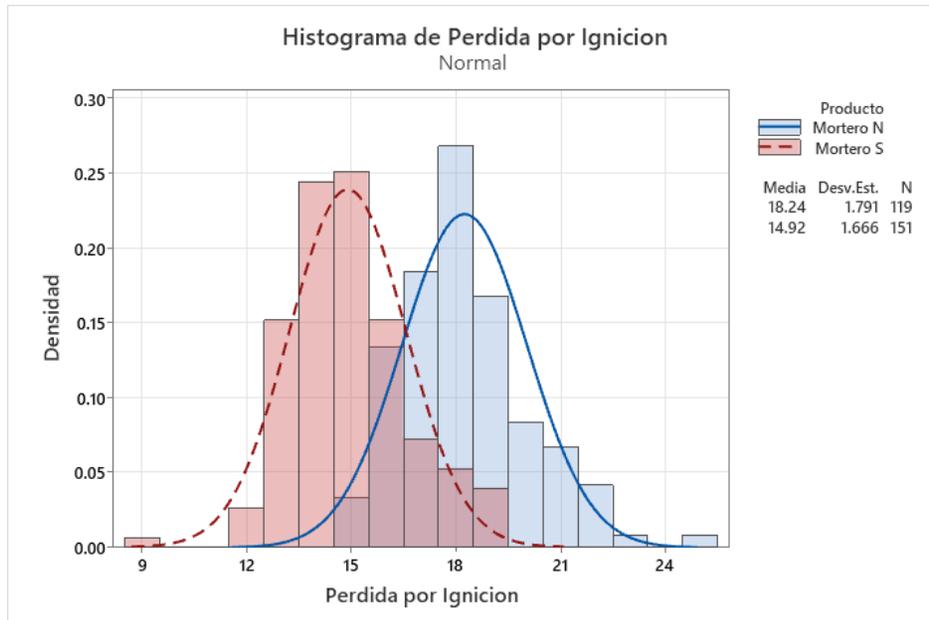
Nota: Se aprecia un *Inter lape* entre los dos histogramas, básicamente una fracción de cada producto ha caído en las especificaciones del otro.

Figura 68. Distribución de las Resistencias a 3 días en compositos de producción, ambos Morteros



Nota: Nuevamente se encuentra un Inter lape entre los dos histogramas.

Figura 69. Distribución de las perdidas por ignición en compositos de producción, ambos Morteros



Nota: nuevamente se encuentra un Inter lape entre los dos histogramas.

6.8 Diagramas de dispersión

El diagrama de dispersión es una gráfica donde se visualiza la relación entre dos variables y en qué grado es esa relación (Escalante, 2004, pg. 253), la relación puede ser directa o inversa, siendo la primera la que indica cuando una variable crece o decrece, la otra se moverá en esa misma dirección, mientras que la segunda es lo opuesto.

Los grados de relación entre dos variables son:

Fuerte - Existe perfecta correspondencia lineal

Débil – Hay correlación con cierto grado de imperfección.

Nula – No hay correlación.

Figura 70. Gráfico de dispersión entre la resistencia a 3 días y la pérdida por ignición

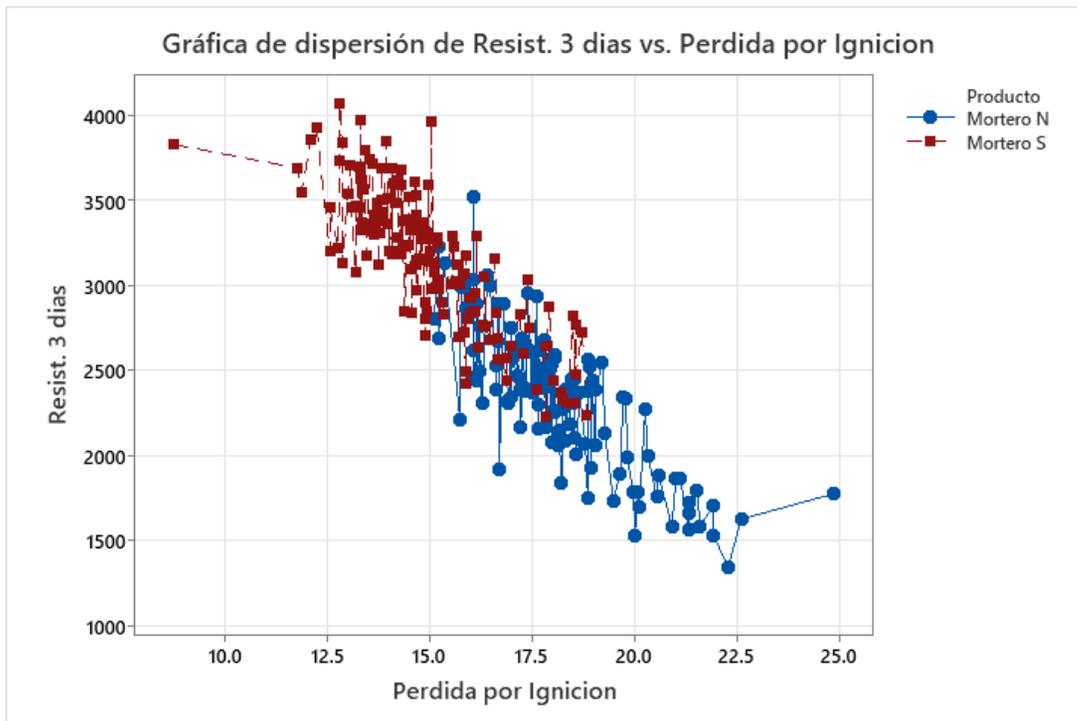
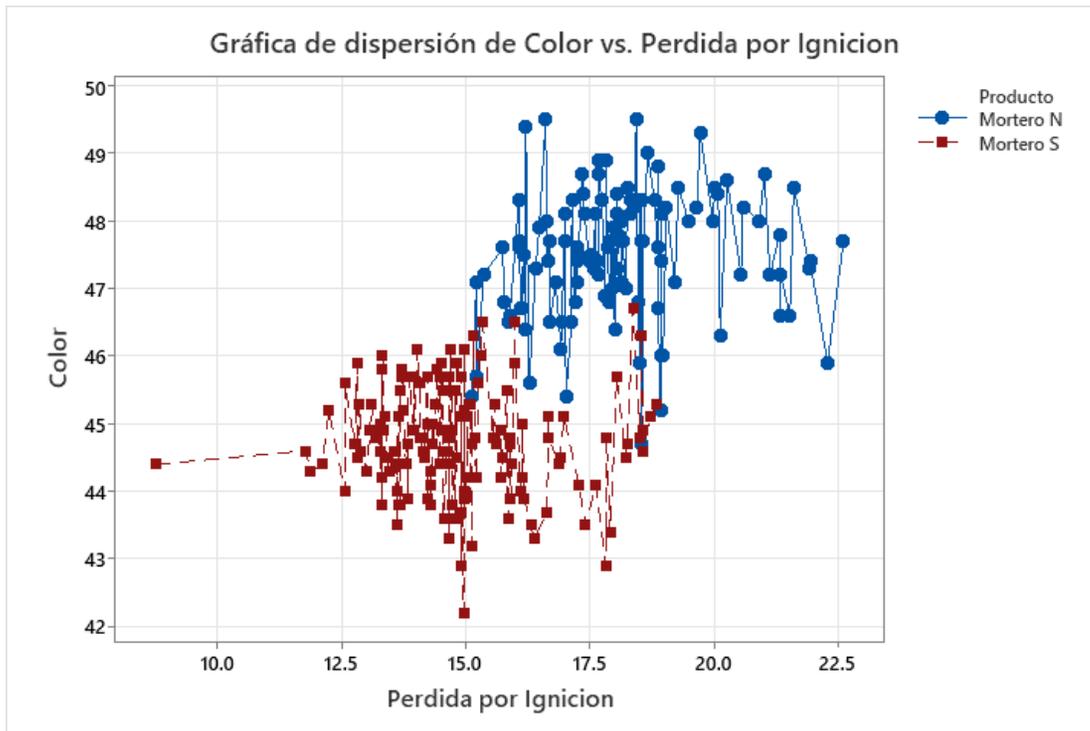


Figura 71. Grafica de dispersión de Color vs Perdida por Ignición para cada tipo de Mortero



El estudio de correlación con características importantes de prueba concluye que existe una relativamente fuerte e inversa relación de la resistencia en ambos productos (Mortero N y S. Fig.70) con el porcentaje de pérdida por ignición, sin embargo, no existe correlación entre el color y esta última (Fig. 71).

6.9 Regresión y correlación

Gujarati (1997, pg. 21) comenta que los análisis de correlación y de regresión, aunque muy diferente, están estrechamente relacionados; en el primero el objetivo es medir la fuerza de asociación lineal entre dos variables, mientras con el análisis de regresión se busca estimar o predecir el valor promedio de una variable sobre la base de valores fijos de otras variables.

En el análisis de regresión hay una asimetría en el tratamiento y se supone que la variable dependiente es estadística, aleatoria o estocástica, y que tiene una distribución de probabilidad, mientras que en el análisis de correlación se tratan dos variables en forma simétrica, no hay distinción entre variables.

(Escalante, 2004, pg. 257) El análisis de regresión es utilizado para relacionar mediante un modelo una o más variables independientes con una variable dependiente o de respuesta.

Los usos comunes son:

1. Descripción o representación del comportamiento de un proceso.
2. Predicción o estimación. Predicción con base en un valor “x” desconocido, estimación con base en un valor “x” conocido.
3. Control: para obtener cierta respuesta deseada del proceso.

En el estudio de dispersión se denota que las resistencias a 3 días se correlacionan con la pérdida por ignición del mortero.

La pérdida por ignición está directamente relacionada con la caliza y el yeso añadidos y en menor proporción con el Clinker que normalmente tiene una pérdida por ignición muy baja.

Ejemplo en Tabla 18:

Tabla 18. Influencia de la proporción de materiales en la pérdida por ignición de los morteros.

Componente	Proporciones en Mortero N	Proporciones en Mortero S	Perdida por Ignición
Caliza	38	32	42
Yeso	5	6	21
Clinker	57	62	0
Mortero N	100		17.6
Mortero S		100	14.7

Cada porcentaje de caliza mueve en 0.4% la pérdida por ignición, y uno por ciento de yeso mueve la pérdida en 0.2%.

A continuación, se presentan las correlaciones con Índices Pearson entre Perdida por ignición contra Resistencias y contra Color.

Figura 72. Gráfico de correlación entre Resistencia a 3 días y Perdida por Ignición – Mortero Tipo S.

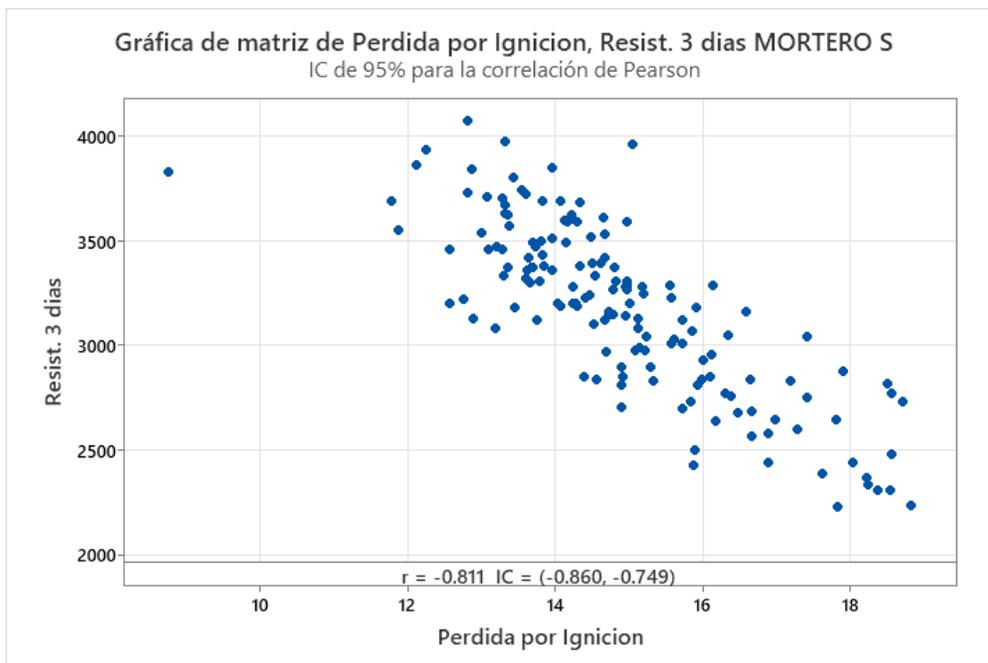


Figura 73. Gráfico de correlación entre Resistencia a 3 días y Perdida por Ignición – Mortero Tipo N.

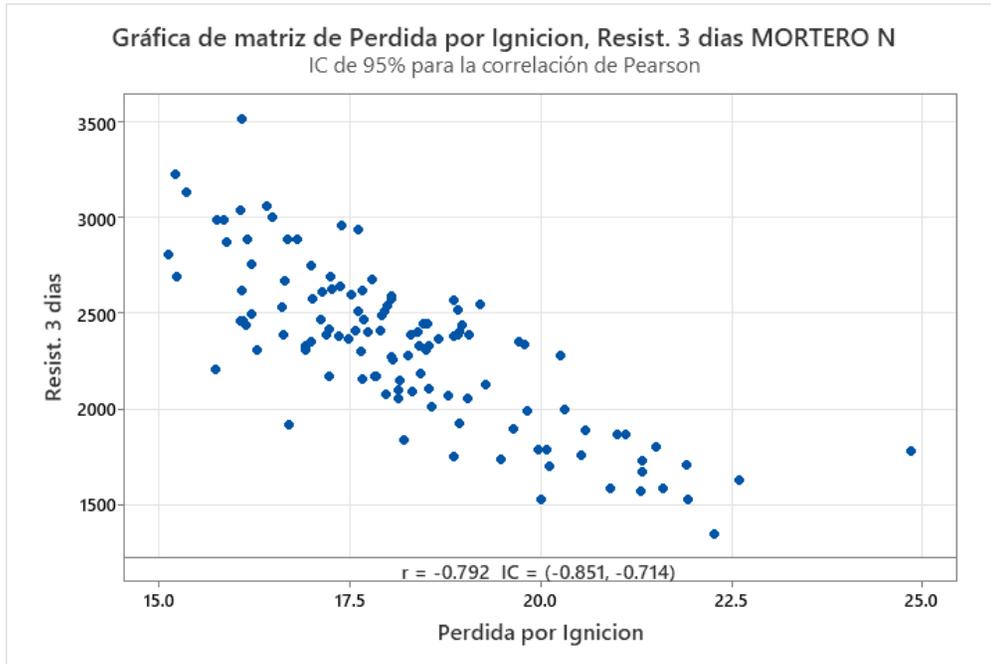


Figura 74. Gráfico de correlación entre Color y Perdida por Ignición – Mortero Tipo S.

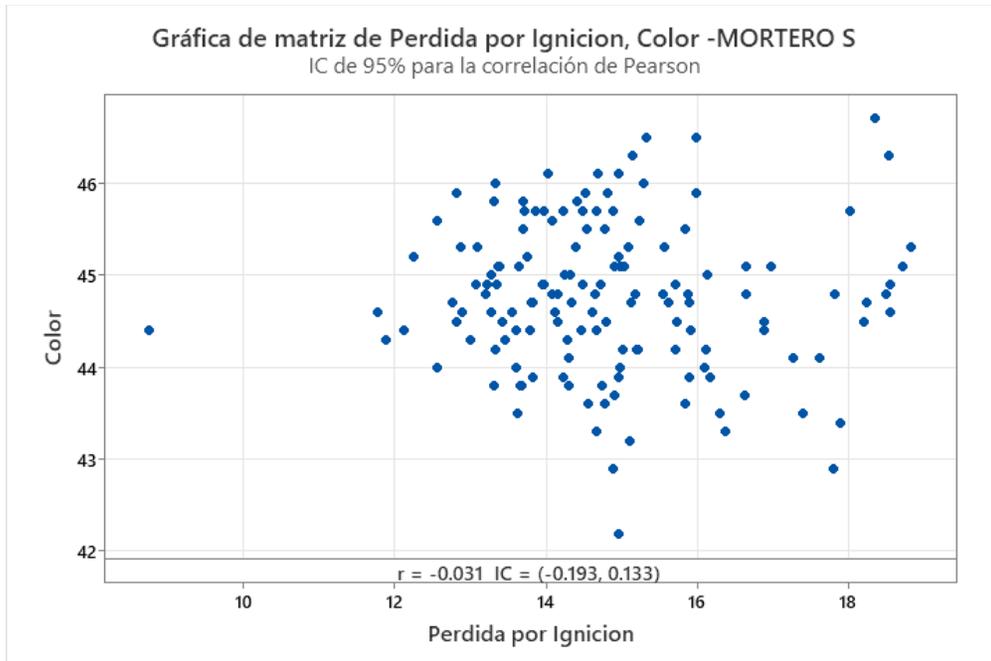
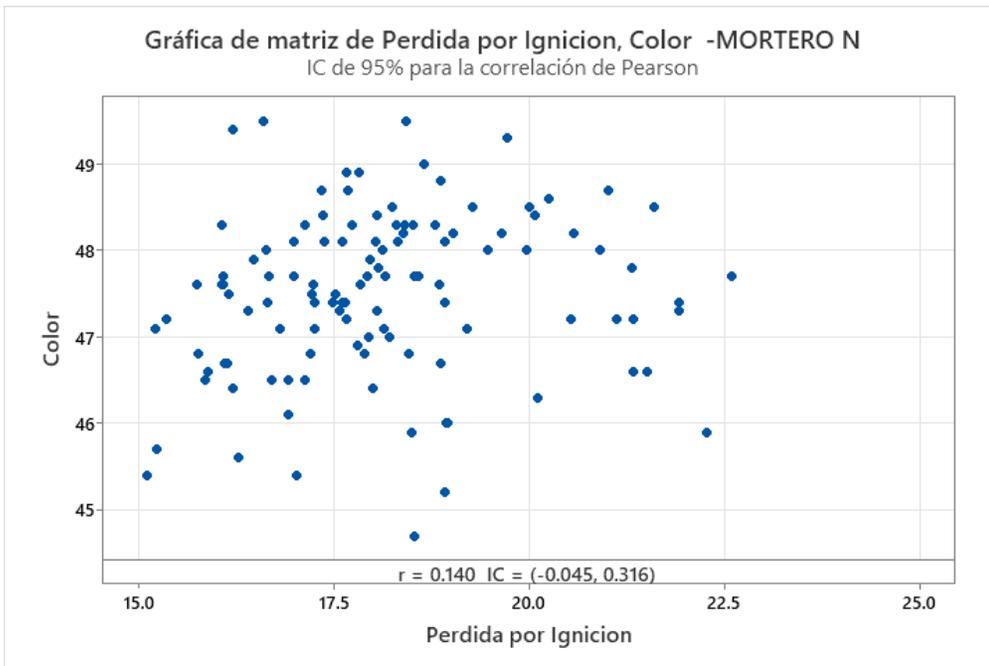


Figura 75. Gráfico de correlación entre Color y Perdida por Ignición – Mortero Tipo N



6.10 Pruebas de hipótesis

La prueba de hipótesis es una herramienta de calidad utilizada para probar que no ha habido un cambio en la media o dispersión de un proceso, o en una característica del producto, y consta de cuatro pasos. (Joseph Paul Mitchell, 2015, pg. 2).

1. Definir una hipótesis nula, que generalmente se asocia al hecho que no existe cambio alguno.
2. Definir una hipótesis alternativa, indicando que efectivamente hubo un cambio.
3. Establecer el nivel de significancia, que es la probabilidad de error de rechazar la hipótesis nula siendo cierta, y se define como alfa (α), siendo su valor típico igual a 0.05.
4. Usar un valor de probabilidad, este puede ser cero.

Cabe destacar que el hecho que la conclusión resulte en rechazar la hipótesis nula no significa que ya las cosas se quedan ahí, la idea es que se investigue esa situación y encontrar soluciones a esa situación, pues normalmente lo que se desea es que no exista un cambio significativo en el proceso o producto.

Para el estudio, lo primero importante es probar que el Color y la Resistencia a 3 días no han cambiado respecto a los objetivos definidos, en este caso se probó si la media era mayor que el objetivo, para Color son 44 para Mortero Tipo S y 47 para Mortero Tipo N, mientras que para la Resistencia a 3 días es 2400 PSI para Mortero Tipo S y 1700 PSI para Mortero Tipo N.

Aquí se define la prueba de hipótesis para los 4 casos

Prueba

Hipótesis nula

$H_0: \mu = \text{media}$

Hipótesis alterna

$H_1: \mu > \text{media}$

Figura 76. Resultados de pruebas de hipótesis para Resistencia y Color de Mortero Tipo S (Compositos)

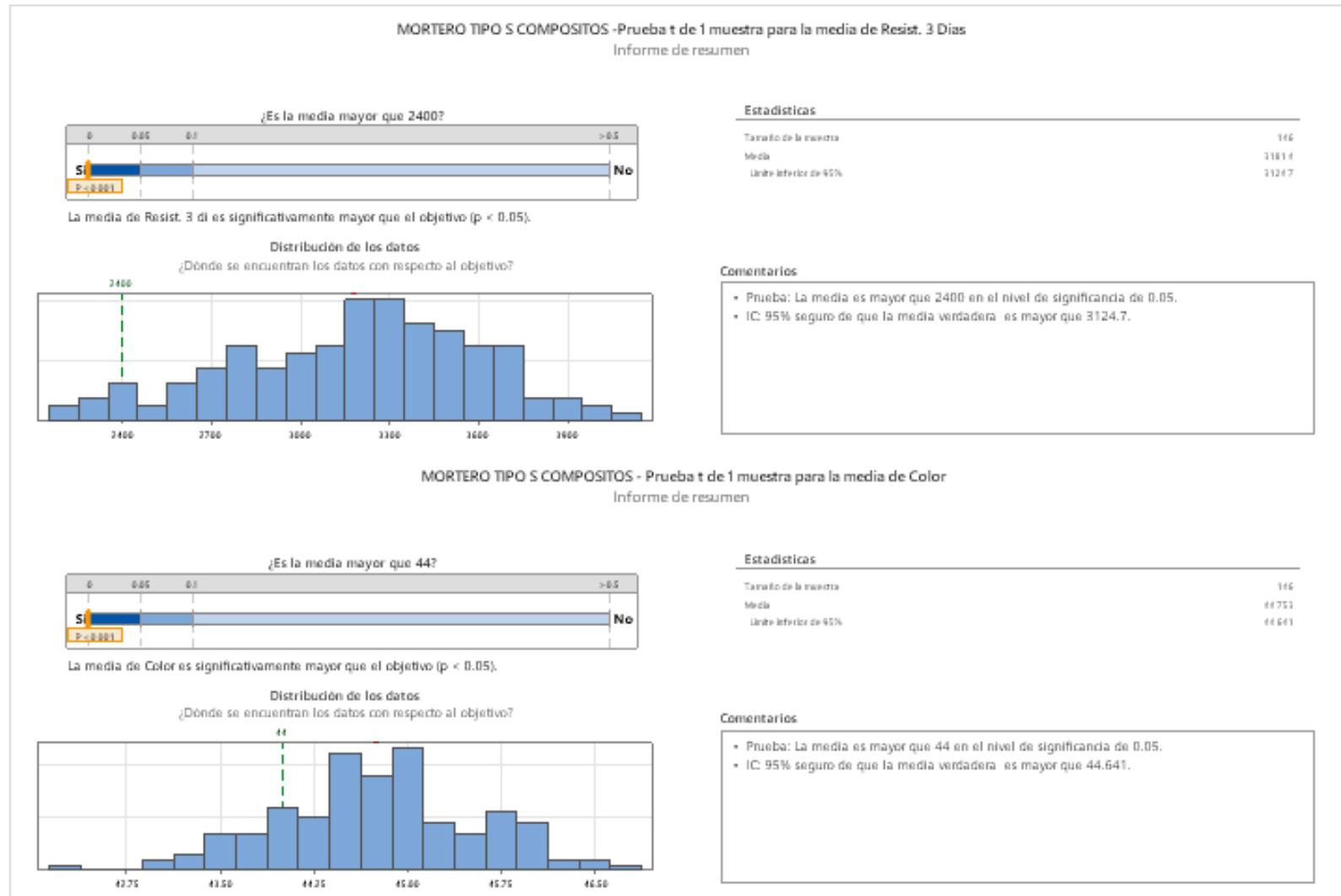
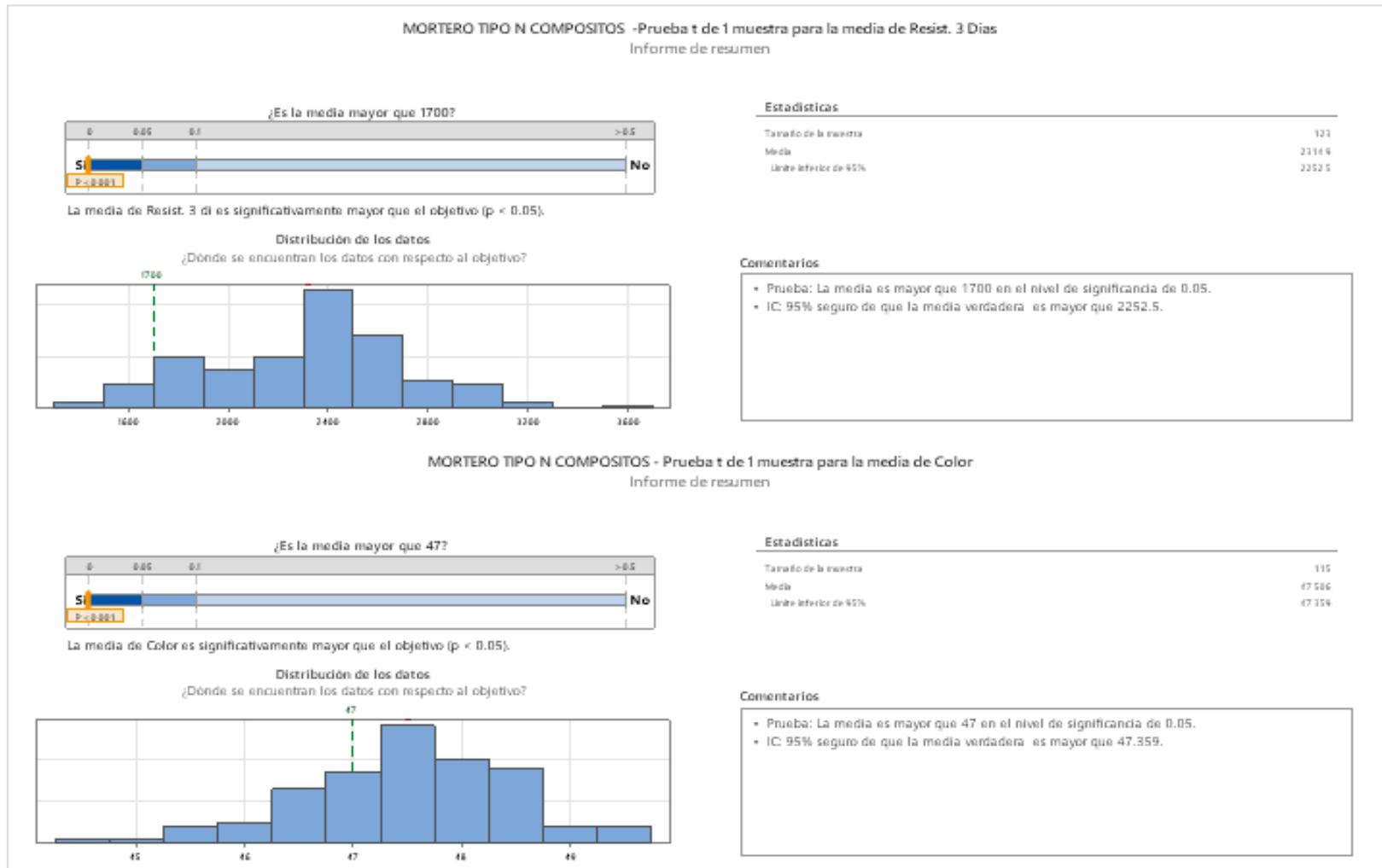


Figura 77. Resultados de pruebas de hipótesis para Resistencia y Color de Mortero Tipo N (Compositos)



De las pruebas de Hipótesis (Figuras 76 y 77) se concluye que si existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula en los cuatro casos, y que la media real es efectivamente mayor que los objetivos establecidos.

De aquí parte la motivación de encontrar la forma de mejorar el desempeño de ambos, Color y Resistencia y lograr que no exista diferencia con los objetivos.

6.11 Diseño de Mezclas: Pruebas de Laboratorio

6.11.1 Principio

Para poder saber necesitamos aprender, y así ganamos conocimiento, el proceso iterativo de aprendizaje nos lleva por varios pasos repetitivos en cada ciclo, comienza con la propuesta de una hipótesis o supuesto, luego se define el experimento a conducir para probarla, se lleva a cabo obteniendo información descriptiva del evento para después evaluar conclusiones, de ahí se vuelve a comenzar, hasta que después de varios ciclos se logra el éxito o fracaso.

El diseño experimental trabaja de una forma estructurada donde varios experimentos son corridos, y se pueden estimar los efectos de varias variables interactuando simultáneamente, se comienza con una definida cantidad de eventos donde se modifica el nivel de cada variable para observar el cambio en los resultados, y así deducir una conclusión, o correr más para converger en una solución.

La convergencia hacia un resultado será más rápida y segura si se dispone de métodos de diseño y de un análisis de sensibilidad de datos y así aliviar dificultades con error experimental, con la confusión entre correlación y causalidad, y la complejidad de los efectos estudiados (Box, Hunter, Hunter, 2001, pg. 7).

Los diseños de mezclas son diseños experimentales relacionados más a definir una superficie de respuesta donde se puedan observar los puntos óptimos, esto puede relacionarse con rendimiento, eliminación de defectos, costo, etcétera.

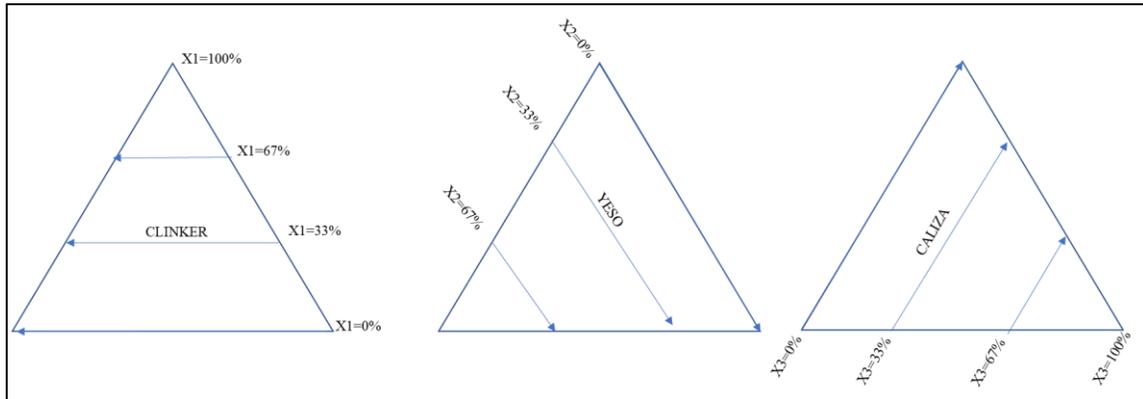
6.11.2 Propósito de los experimentos a nivel laboratorio.

Se definió un diseño de mezclas simplex reticular de grado 3 con 3 componentes:

1. Clinker
2. Yeso
3. Caliza

Las composiciones fueron no restringidas, y dependiendo del experimento, cada material varió entre 100%, 67%, 33% o 0%, en un sistema ternario se ponen las coordenadas de los 3 materiales en un triángulo, a continuación, se explica en Figura 78 como se establecen coordenadas.

Figura 78. Esquema explicativo de lectura - Sistema ternario Clinker/Yeso/Caliza

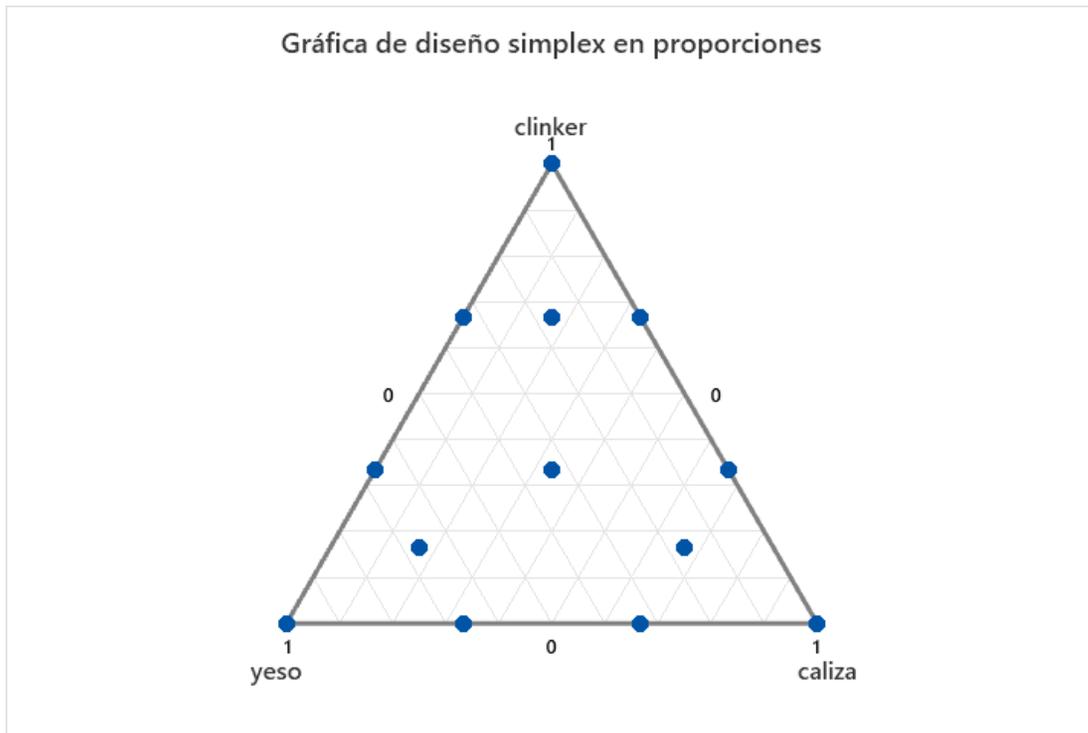


Las variables de respuesta a analizar fue el color, y en adición los parámetros L, a y b, estos variando la composición porcentual de los tres componentes, de manera planeada y dando un orden aleatorizado a las corridas, se corrieron por duplicado para reducir el error experimental.

La resistencia no fue incluida dado que el objetivo de esta primera etapa fue saber como se comporta el color con la composición de la mezcla, y se sabe de antemano que algunas mezclas no son posibles a nivel industrial.

El diseño simplex reticular de grado 3 se caracteriza por considerar 13 puntos experimentales y se puede ajustar un modelo cubico completo.

Figura 79. Diseño Simplex de grado 3, que ajustara a modelo cubico completo. (1=100%)



Se desarrollo la lista de experimentos aleatoriamente y por duplicado siendo en total 26 corridas. Ver Tabla 19.

Tabla 19. Mezclas – corridas aleatoriamente.

StdOrder	Orden de corrida	PtType	Bloque	clinker	yeso	caliza
16	1	2	1	67%	0%	33%
1	2	1	1	100%	0%	0%
2	3	2	1	67%	33%	0%
19	4	2	1	33%	0%	67%
25	5	-1	1	17%	67%	17%
13	6	-1	1	17%	17%	67%
11	7	-1	1	67%	17%	17%
9	8	2	1	0%	33%	67%
15	9	2	1	67%	33%	0%

6	10	2	1	33%	0%	67%
26	11	-1	1	17%	17%	67%
21	12	2	1	0%	67%	33%
22	13	2	1	0%	33%	67%
5	14	0	1	33%	33%	33%
10	15	1	1	0%	0%	100%
4	16	2	1	33%	67%	0%
12	17	-1	1	17%	67%	17%
24	18	-1	1	67%	17%	17%
3	19	2	1	67%	0%	33%
18	20	0	1	33%	33%	33%
17	21	2	1	33%	67%	0%
20	22	1	1	0%	100%	0%
23	23	1	1	0%	0%	100%
7	24	1	1	0%	100%	0%
8	25	2	1	0%	67%	33%
14	26	1	1	100%	0%	0%

6.11.3 Proceso de preparación

1. Pesado de materiales y carga a molino de laboratorio (Fig. 80)
2. Cerrar molino y encenderlo
3. Correr la prueba por una hora o 7200 revoluciones
4. Sacar el contenido, limpiar los cuerpos molidores y coleccionar el producto final en una cubeta.
5. Medir Color, L, a y b en espectrofotómetros.
6. Alimentar datos a Minitab
7. Desarrollo de modelo

Figura 80. *Molino de Laboratorio.*



6.11.4 Resultados de las mezclas preparadas

En la Tabla 20 se muestran las corridas de laboratorio y los resultados de las pruebas de color.

Tabla 20. *Tabla de resultados de Color y L, a, b.*

Orden de Corrida	clinker	yeso	caliza	Color	L	a	b
1	67%	0%	33%	48.6	71.49	0.2	8.3
2	100%	0%	0%	35.4	61.9	0.5	11.79
3	67%	33%	0%	45.3	69.66	0.15	8.05
4	33%	0%	67%	61.8	78.58	0.22	6.17
5	17%	67%	17%	66.2	82.4	0.3	6.13
6	17%	17%	67%	65.3	82.9	0.33	5.3
7	67%	17%	17%	48.2	71.68	0.18	7.23
8	0%	33%	67%	68.9	86.24	0.72	6.03
9	67%	33%	0%	45.8	71.06	0.12	6.68
10	33%	0%	67%	60.7	79.33	0.17	5.67
11	17%	17%	67%	66.2	84.48	0.21	4.95
12	0%	67%	33%	75	87.84	0.83	6.68
13	0%	33%	67%	73.8	87.5	0.75	6.04
14	33%	33%	33%	60.5	79.72	0.15	5.15
15	0%	0%	100%	74.6	87.89	0.55	5.1
16	33%	67%	0%	59	79.69	0.15	5.12
17	17%	67%	17%	69	83.34	0.33	5.91
18	67%	17%	17%	47.1	71.99	0.11	6.59
19	67%	0%	33%	48	72.14	0.15	7.11
20	33%	33%	33%	59.2	78.93	0.08	5.04
21	33%	67%	0%	60.4	79.46	0.02	4.72
22	0%	100%	0%	75.0	86.78	1.23	8.11
23	0%	0%	100%	79.5	88.54	0.51	5.1
24	0%	100%	0%	77.7	87.19	1.33	8.83
25	0%	67%	33%	74.1	85.49	0.83	7.76
26	100%	0%	0%	33.5	61.09	0.52	11.27

6.11.5 Regresión para mezclas: color vs. Clinker, yeso, caliza
Selección de términos escalonada

Términos candidatos: Clinker, yeso, caliza, Clinker*yeso, Clinker*caliza, yeso*caliza,
 Clinker*yeso*caliza, Clinker*yeso*(-), Clinker*caliza*(-), yeso*caliza*(-)

Tabla 21. Resultados de la Regresión escalonada para Color.

Terminos elegidos	----Paso 1----		----Paso 2----		----Paso 3----		----Paso 4----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	P
clinker	33.667	*	33.264	*	33.264	*	34.389	*
yeso	74.08	*	75.54	*	74.85	*	76.19	*
caliza	74.423	*	75.88	*	76.566	*	76.321	*
yeso*caliza			-13.51	0.017	-13.51	0.009	-14.7	0.002
yeso*caliza*(-)					25.07	0.019	23.11	0.016
clinker*yeso							-10.76	0.019
S		2.06967		1.85552		1.65909		1.47707
R-cuadrado		97.71%		98.24%		98.66%		98.99%
R-cuadrado(ajustado)		97.51%		98.00%		98.40%		98.73%
R-cuadrado (pred)		96.83%		97.22%		97.46%		97.84%
Cp de Mallows		21.48		13.89		8.33		4.37
<i>α a entrar = 0.15, α a retirar = 0.15</i>								

Tabla 22. Coeficientes de regresión estimados para color (proporciones del componente)

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
clinker	34.389	0.821	*	*	1.68
yeso	76.19	1	*	*	2.5
caliza	76.321	0.856	*	*	1.83
clinker*yeso	-10.76	4.22	-2.55	0.019	2.23
yeso*caliza	-14.7	4.21	-3.5	0.002	2.22
yeso*caliza*(-)	23.11	8.78	2.63	0.016	1.21

De tabla 22 se leen coeficientes y la fórmula quedaría:

$$Color = 34.39x\%clinker + 76.19x\%yeso + 76.32x\%caliza - 10.76x\%clinkerx\%yeso - 14.7x\%yesox\%caliza + 23.11x\%yesox\%calizax(-)$$

El resumen del modelo indica que el modelo predice con alta precisión.

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	PRESS	R-cuadrado (pred)
1.47707	98.99%	98.73%	92.8843	97.84%

Tabla 23. *Análisis de varianza para Color (proporciones del componente)*

Fuente	Grados de Libertad	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	5	4264.43	4264.43	852.89	390.92	0.000
Lineal	2	4209.54	3121.27	1560.63	715.31	0.000
Cuadrático	2	39.75	36.95	18.47	8.47	0.002
clinker*yeso	1	12.7	14.17	14.17	6.49	0.019
yeso*caliza	1	27.05	26.65	26.65	12.22	0.002
Cúbico completo	1	15.13	15.13	15.13	6.94	0.016
yeso*caliza*(-)	1	15.13	15.13	15.13	6.94	0.016
Error residual	20	43.64	43.64	2.18		
Falta de ajuste	7	6.11	6.11	0.87	0.3	0.941
Error puro	13	37.53	37.53	2.89		
Total	25	4308.07				

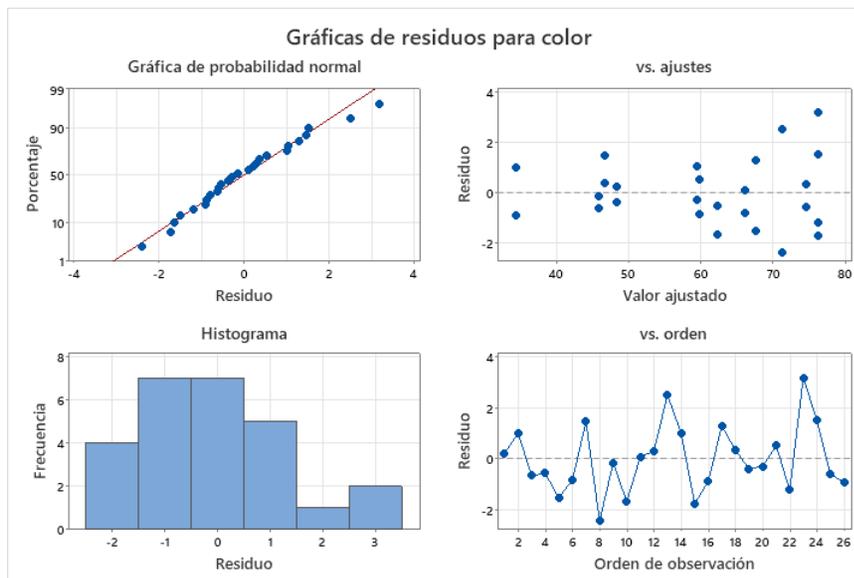
Tabla 24. Ajustes y diagnósticos para todas las observaciones

Observacion	Orden Est.	Color	Ajuste	EE de ajuste	Residual	Resid est.	
1	16	48.6	48.366	0.539	0.234	0.17	
2	1	35.4	34.389	0.821	1.011	0.82	
3	2	45.3	45.932	0.664	-0.632	-0.48	
4	19	61.8	62.343	0.557	-0.543	-0.4	
5	25	66.2	67.702	0.591	-1.502	-1.11	
6	13	65.3	66.094	0.571	-0.794	-0.58	
7	11	48.2	46.741	0.441	1.459	1.04	
8	9	68.9	71.299	0.875	-2.399	-2.02	R
9	15	45.8	45.932	0.664	-0.132	-0.1	
10	6	60.7	62.343	0.557	-1.643	-1.2	
11	26	66.2	66.094	0.571	0.106	0.08	
12	21	75	74.681	0.887	0.319	0.27	
13	22	73.8	71.299	0.875	2.501	2.1	R
14	5	60.5	59.472	0.423	1.028	0.73	
15	10	74.6	76.321	0.856	-1.721	-1.43	
16	4	59	59.867	0.705	-0.867	-0.67	
17	12	69	67.702	0.591	1.298	0.96	
18	24	47.1	46.741	0.441	0.359	0.25	
19	3	48	48.366	0.539	-0.366	-0.27	
20	18	59.2	59.472	0.423	-0.272	-0.19	
21	17	60.4	59.867	0.705	0.533	0.41	
22	20	75	76.193	1.001	-1.193	-1.1	
23	23	79.5	76.321	0.856	3.179	2.64	R
24	7	77.7	76.193	1.001	1.507	1.39	
25	8	74.1	74.681	0.887	-0.581	-0.49	
26	14	33.5	34.389	0.821	-0.889	-0.72	
<i>Residuo grande R</i>							

Tabla 25. Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para Color.

Punto	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
1	48.366	0.539	(47.243, 49.489)	(45.086, 51.646)
2	34.389	0.821	(32.676, 36.101)	(30.864, 37.914)
3	45.932	0.664	(44.548, 47.317)	(42.554, 49.310)
4	62.343	0.557	(61.182, 63.504)	(59.051, 65.636)
5	67.702	0.591	(66.470, 68.934)	(64.384, 71.020)
6	66.094	0.571	(64.904, 67.285)	(62.791, 69.397)
7	46.741	0.441	(45.821, 47.661)	(43.525, 49.956)
8	71.299	0.875	(69.474, 73.124)	(67.718, 74.880)
9	45.932	0.664	(44.548, 47.317)	(42.554, 49.310)
10	62.343	0.557	(61.182, 63.504)	(59.051, 65.636)
11	66.094	0.571	(64.904, 67.285)	(62.791, 69.397)
12	74.681	0.887	(72.831, 76.530)	(71.087, 78.274)
13	71.299	0.875	(69.474, 73.124)	(67.718, 74.880)
14	59.472	0.423	(58.589, 60.355)	(56.267, 62.677)
15	76.321	0.856	(74.535, 78.107)	(72.759, 79.882)
16	59.867	0.705	(58.398, 61.337)	(56.454, 63.281)
17	67.702	0.591	(66.470, 68.934)	(64.384, 71.020)
18	46.741	0.441	(45.821, 47.661)	(43.525, 49.956)
19	48.366	0.539	(47.243, 49.489)	(45.086, 51.646)
20	59.472	0.423	(58.589, 60.355)	(56.267, 62.677)
21	59.867	0.705	(58.398, 61.337)	(56.454, 63.281)
22	76.19	1.000	(74.11, 78.28)	(72.47, 79.91)
23	76.321	0.856	(74.535, 78.107)	(72.759, 79.882)
24	76.19	1.000	(74.11, 78.28)	(72.47, 79.91)
25	74.681	0.887	(72.831, 76.530)	(71.087, 78.274)
26	34.389	0.821	(32.676, 36.101)	(30.864, 37.914)

Figura 81. Graficas de Residuales para el modelo de Color.



6.11.6 Regresión para mezclas: L vs. Clinker, yeso, caliza

Selección de términos escalonada

Términos candidatos: Clinker, yeso, caliza, Clinker*yeso, Clinker*caliza, yeso*caliza, Clinker*yeso*caliza, Clinker*yeso*(-), Clinker*caliza*(-), yeso*caliza*(-)

Tabla 26. Resultados de la Regresión escalonada para L.

Terminos elegidos	----Paso 1----		----Paso 2----		----Paso 3----		----Paso 4----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	P
clinker	62.603	*	62.339	*	62.2	*	61.99	*
yeso	86.925	*	86.925	*	87.356	*	87.311	*
caliza	87.854	*	88.117	*	88.568	*	88.529	*
clinker*caliza*(-)			9.63	0.058	10.35	0.035	10.56	0.025
yeso*caliza					-4.00	0.083	-5.16	0.028
clinker*yeso*caliza							23.9	0.081
S		0.86522		0.81389		0.77437		0.7339
R-cuadrado		98.92%		99.08%		99.21%		99.32%
R-cuadrado(ajustado)		98.82%		98.96%		99.06%		99.15%
R-cuadrado (pred)		98.60%		98.76%		98.79%		98.87%
Cp de Mallows		10.12		7.49		6.03		4.84

α a entrar = 0.15, α a retirar = 0.15

Tabla 27. Coeficientes de regresión estimados para L (proporciones del componente)

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
clinker	61.99	0.383	*	*	1.48
yeso	87.311	0.407	*	*	1.67
caliza	88.529	0.429	*	*	1.86
yeso*caliza	-5.16	2.18	-2.37	0.028	2.41
clinker*yeso*caliza	23.9	13	1.84	0.081	1.5
clinker*caliza*(-)	10.56	4.36	2.42	0.025	1.21

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	PRESS	R-cuadrado (pred)
0.733902	99.32%	99.15%	17.9615	98.87%

Tabla 28. Análisis de varianza para L (proporciones del componente)

Fuente	Grados de Libertad	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	5	1578.16	1578.16	315.632	586.01	0
Lineal	2	1571.71	1058.11	529.053	982.25	0
Cuadrático	1	1.59	3.02	3.019	5.61	0.028
yeso*caliza	1	1.59	3.02	3.019	5.61	0.028
Cúbico especial	1	1.7	1.82	1.82	3.38	0.081
clinker*yeso*caliza	1	1.7	1.82	1.82	3.38	0.081
Cúbico completo	1	3.16	3.16	3.159	5.86	0.025
clinker*caliza*(-)	1	3.16	3.16	3.159	5.86	0.025
Error residual	20	10.77	10.77	0.539		
Falta de ajuste	7	3.04	3.04	0.435	0.73	0.65
Error puro	13	7.73	7.73	0.594		
Total	25	1588.93				

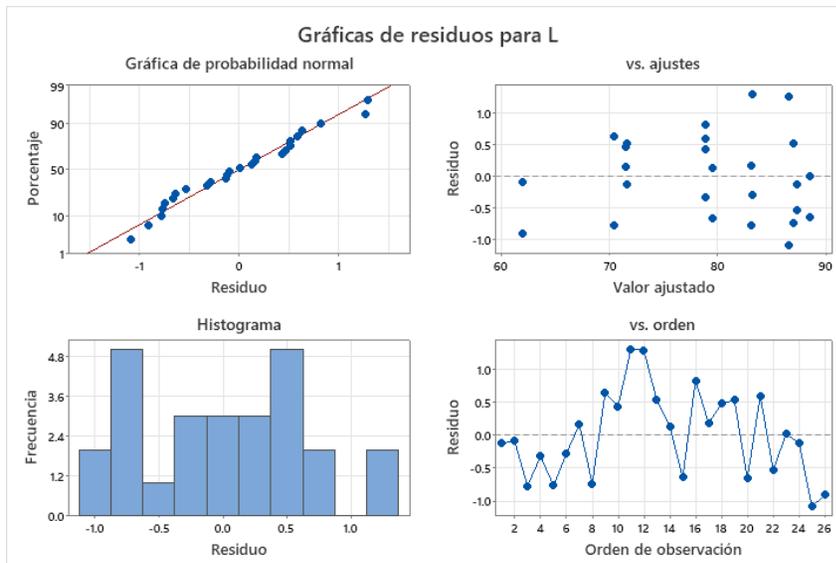
Tabla 29. Ajustes y diagnósticos para todas las observaciones

Observacion	Orden Est.	L	Ajuste	EE de ajuste	Residual	Resid est.
1	16	71.49	71.62	0.375	-0.13	-0.20
2	1	61.90	61.99	0.383	-0.09	-0.14
3	2	69.66	70.43	0.257	-0.77	-1.12
4	19	78.58	78.90	0.382	-0.32	-0.51
5	25	82.40	83.16	0.254	-0.76	-1.11
6	13	82.90	83.19	0.313	-0.29	-0.43
7	11	71.68	71.52	0.314	0.16	0.24
8	9	86.24	86.98	0.372	-0.74	-1.16
9	15	71.06	70.43	0.257	0.63	0.92
10	6	79.33	78.90	0.382	0.43	0.69
11	26	84.48	83.19	0.313	1.30	1.95
12	21	87.84	86.57	0.368	1.27	2.00
13	22	87.50	86.98	0.372	0.52	0.83
14	5	79.72	79.59	0.399	0.13	0.21
15	10	87.89	88.53	0.429	-0.64	-1.07
16	4	79.69	78.87	0.269	0.82	1.20
17	12	83.34	83.16	0.254	0.18	0.26
18	24	71.99	71.52	0.314	0.47	0.71
19	3	72.14	71.62	0.375	0.52	0.83
20	18	78.93	79.59	0.399	-0.66	-1.07
21	17	79.46	78.87	0.269	0.59	0.86
22	20	86.78	87.31	0.407	-0.53	-0.87
23	23	88.54	88.53	0.429	0.01	0.02
24	7	87.19	87.31	0.407	-0.12	-0.20
25	8	85.49	86.57	0.368	-1.08	-1.70
26	14	61.09	61.99	0.383	-0.90	-1.44

Tabla 30. Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para *L*

Punto	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
1	71.62	0.375	(70.837, 72.401)	(69.900, 73.338)
2	61.99	0.383	(61.190, 62.789)	(60.263, 63.717)
3	70.43	0.257	(69.894, 70.967)	(68.808, 72.052)
4	78.90	0.382	(78.103, 79.698)	(77.174, 80.626)
5	83.16	0.254	(82.634, 83.693)	(81.543, 84.783)
6	83.19	0.313	(82.532, 83.839)	(81.521, 84.850)
7	71.52	0.314	(70.865, 72.174)	(69.854, 73.184)
8	86.98	0.372	(86.202, 87.753)	(85.261, 88.693)
9	70.43	0.257	(69.894, 70.967)	(68.808, 72.052)
10	78.90	0.382	(78.103, 79.698)	(77.174, 80.626)
11	83.19	0.313	(82.532, 83.839)	(81.521, 84.850)
12	86.57	0.368	(85.803, 87.339)	(84.859, 88.284)
13	86.98	0.372	(86.202, 87.753)	(85.261, 88.693)
14	79.59	0.399	(78.756, 80.421)	(77.846, 81.331)
15	88.53	0.429	(87.633, 89.425)	(86.755, 90.303)
16	78.87	0.269	(78.310, 79.432)	(77.240, 80.501)
17	83.16	0.254	(82.634, 83.693)	(81.543, 84.783)
18	71.52	0.314	(70.865, 72.174)	(69.854, 73.184)
19	71.62	0.375	(70.837, 72.401)	(69.900, 73.338)
20	79.59	0.399	(78.756, 80.421)	(77.846, 81.331)
21	78.87	0.269	(78.310, 79.432)	(77.240, 80.501)
22	87.31	0.407	(86.462, 88.160)	(85.561, 89.062)
23	88.53	0.429	(87.633, 89.425)	(86.755, 90.303)
24	87.31	0.407	(86.462, 88.160)	(85.561, 89.062)
25	86.57	0.368	(85.803, 87.339)	(84.859, 88.284)
26	61.99	0.383	(61.190, 62.789)	(60.263, 63.717)

Figura 82. Gráficas de Residuales para el modelo de *L*.



6.11.7 Regresión para mezclas: a vs. Clinker, yeso, caliza

Selección de términos escalonada

Términos candidatos: Clinker, yeso, caliza, Clinker*yeso, Clinker*caliza, yeso*caliza, Clinker*yeso*caliza, Clinker*yeso*(-), Clinker*caliza*(-), yeso*caliza*(-)

Tabla 31. Tabla de Resultados de la Regresión escalonada para "a".

Terminos elegidos	-----Paso 1-----		-----Paso 2-----		-----Paso 3-----		-----Paso 4-----	
	Coefficiente	Valor P						
clinker	0.028 *		0.388 *		0.589 *		0.521 *	
yeso	0.787 *		1.147 *		1.117 *		1.176 *	
caliza	0.413 *		0.313 *		0.488 *		0.479 *	
clinker*yeso			-3.339	0.000	-3.525	0.000	-3.515	0.000
clinker*caliza					-1.675	0.000	-1.586	0.000
clinker*yeso*(-)							2.100	0.000
yeso*caliza								
yeso*caliza*(-)								
clinker*yeso*caliza								
S		0.2941		0.1648		0.1095		0.0796
R-cuadrado		35.70%		80.69%		91.87%		95.91%
R-cuadrado(ajustado)		30.11%		78.06%		90.32%		94.88%
R-cuadrado (pred)		10.01%		71.70%		86.65%		92.91%
Cp de Mallows		741.96		210.84		80.37		34.52

Terminos elegidos	-----Paso 5-----		-----Paso 6-----		-----Paso 7-----	
	Coefficiente	Valor P	Coefficiente	Valor P	Coefficiente	Valor P
clinker	0.5152 *		0.5181 *		0.51 *	
yeso	1.2605 *		1.2844 *		1.2762 *	
caliza	0.5595 *		0.5327 *		0.5245 *	
clinker*yeso	-3.601	0.000	-3.632	0.000	-3.517	0.000
clinker*caliza	-1.668	0.000	-1.64	0.000	-1.525	0.000
clinker*yeso*(-)	2.21	0.000	2.119	0.000	2.119	0.000
yeso*caliza	-0.689	0.001	-0.685	0.000	-0.57	0.002
yeso*caliza*(-)			-0.825	0.018	-0.825	0.013
clinker*yeso*caliza					-1.86	0.088
S		0.0605		0.0530		0.0499
R-cuadrado		97.76%		98.37%		98.63%
R-cuadrado(ajustado)		97.05%		97.73%		97.99%
R-cuadrado (pred)		95.77%		96.65%		96.86%
Cp de Mallows		14.6		9.35		8.22

α a entrar = 0.15, α a retirar = 0.15

Tabla 32. Coeficientes de regresión estimados para a (proporciones del componente)

Término	Coefficiente	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
clinker	0.51	0.034	*	*	2.55
yeso	1.2762	0.035	*	*	2.71
caliza	0.5245	0.034	*	*	2.55
clinker*yeso	-3.517	0.157	-22.38	0.000	2.71
clinker*caliza	-1.525	0.157	-9.69	0.000	2.72
yeso*caliza	-0.57	0.157	-3.63	0.002	2.71
clinker*yeso*caliza	-1.86	1.030	-1.81	0.088	2.03
clinker*yeso*(-)	2.119	0.299	7.08	0.000	1.23
yeso*caliza*(-)	-0.825	0.299	-2.76	0.013	1.23

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	PRESS	R-cuadrado (pred)
0.0499132	98.63%	97.99%	0.0972740	96.86%

Tabla 33. Análisis de varianza para a (proporciones del componente)

Fuente	Grados de Libertad	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	8	3.0518	3.0518	0.3815	153.12	0.000
Lineal	2	1.1046	0.7699	0.3849	154.51	0.000
Cuadrático	3	1.7826	1.3143	0.4381	175.84	0.000
clinker*yeso	1	1.3921	1.2478	1.2478	500.87	0.000
clinker*caliza	1	0.3459	0.2338	0.2338	93.86	0.000
yeso*caliza	1	0.0446	0.0328	0.0328	13.17	0.002
Cúbico especial	1	0.0082	0.0082	0.0082	3.28	0.088
clinker*yeso*caliza	1	0.0082	0.0082	0.0082	3.28	0.088
Cúbico completo	2	0.1565	0.1565	0.0783	31.41	0.000
clinker*yeso*(-)	1	0.1376	0.1249	0.1249	50.15	0.000
yeso*caliza*(-)	1	0.0189	0.0189	0.0189	7.6	0.013
Error residual	17	0.0424	0.0424	0.0025		
Falta de ajuste	4	0.0120	0.0120	0.0030	1.28	0.328
Error puro	13	0.0304	0.0304	0.0023		
Total	25	3.0942				

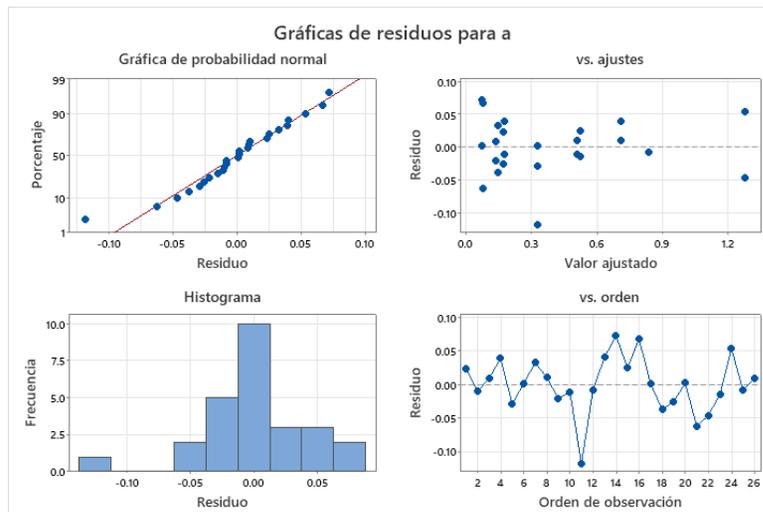
Tabla 34. Ajustes y diagnósticos para todas las observaciones

Observación	Orden Est.	a	Ajuste	EE de ajuste	Residual	Resid est.	
1	16	0.2	0.1759	0.0257	0.0241	0.56	
2	1	0.5	0.51	0.0342	-0.01	-0.27	
3	2	0.15	0.1409	0.0316	0.0091	0.24	
4	19	0.22	0.1807	0.0257	0.0393	0.92	
5	25	0.3	0.3288	0.0242	-0.0288	-0.66	
6	13	0.33	0.3283	0.0215	0.0017	0.04	
7	11	0.18	0.1474	0.0215	0.0326	0.72	
8	9	0.72	0.7095	0.0316	0.0105	0.27	
9	15	0.12	0.1409	0.0316	-0.0209	-0.54	
10	6	0.17	0.1807	0.0257	-0.0107	-0.25	
11	26	0.21	0.3283	0.0215	-0.1183	-2.62	R
12	21	0.83	0.8378	0.0322	-0.0078	-0.21	
13	22	0.75	0.7095	0.0316	0.0405	1.05	
14	5	0.15	0.0778	0.0271	0.0722	1.72	
15	10	0.55	0.5245	0.0342	0.0255	0.7	
16	4	0.15	0.0823	0.0322	0.0677	1.77	
17	12	0.33	0.3288	0.0242	0.0012	0.03	
18	24	0.11	0.1474	0.0215	-0.0374	-0.83	
19	3	0.15	0.1759	0.0257	-0.0259	-0.6	
20	18	0.08	0.0778	0.0271	0.0022	0.05	
21	17	0.02	0.0823	0.0322	-0.0623	-1.63	
22	20	1.23	1.2762	0.0352	-0.0462	-1.31	
23	23	0.51	0.5245	0.0342	-0.0145	-0.4	
24	7	1.33	1.2762	0.0352	0.0538	1.52	
25	8	0.83	0.8378	0.0322	-0.0078	-0.21	
26	14	0.52	0.51	0.0342	0.01	0.28	
<i>Residuo grande R</i>							

Tabla 35. Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para “a”

Punto	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
1	0.1759	0.0257	(0.1216, 0.2301)	(0.0574, 0.2943)
2	0.51	0.0342	(0.4379, 0.5820)	(0.3824, 0.6376)
3	0.1409	0.0316	(0.0742, 0.2076)	(0.0162, 0.2656)
4	0.1807	0.0257	(0.1265, 0.2349)	(0.0623, 0.2992)
5	0.3288	0.0242	(0.2777, 0.3799)	(0.2117, 0.4458)
6	0.3283	0.0215	(0.2830, 0.3736)	(0.2136, 0.4429)
7	0.1474	0.0215	(0.1021, 0.1927)	(0.0327, 0.2620)
8	0.7095	0.0316	(0.6427, 0.7762)	(0.5848, 0.8341)
9	0.1409	0.0316	(0.0742, 0.2076)	(0.0162, 0.2656)
10	0.1807	0.0257	(0.1265, 0.2349)	(0.0623, 0.2992)
11	0.3283	0.0215	(0.2830, 0.3736)	(0.2136, 0.4429)
12	0.8378	0.0322	(0.7699, 0.9057)	(0.7125, 0.9631)
13	0.7095	0.0316	(0.6427, 0.7762)	(0.5848, 0.8341)
14	0.0778	0.0271	(0.0205, 0.1351)	(-0.0421, 0.1977)
15	0.5245	0.0342	(0.4525, 0.5966)	(0.3969, 0.6521)
16	0.0823	0.0322	(0.0145, 0.1502)	(-0.0429, 0.2076)
17	0.3288	0.0242	(0.2777, 0.3799)	(0.2117, 0.4458)
18	0.1474	0.0215	(0.1021, 0.1927)	(0.0327, 0.2620)
19	0.1759	0.0257	(0.1216, 0.2301)	(0.0574, 0.2943)
20	0.0778	0.0271	(0.0205, 0.1351)	(-0.0421, 0.1977)
21	0.0823	0.0322	(0.0145, 0.1502)	(-0.0429, 0.2076)
22	1.2762	0.0352	(1.2019, 1.3505)	(1.1473, 1.4051)
23	0.5245	0.0342	(0.4525, 0.5966)	(0.3969, 0.6521)
24	1.2762	0.0352	(1.2019, 1.3505)	(1.1473, 1.4051)
25	0.8378	0.0322	(0.7699, 0.9057)	(0.7125, 0.9631)
26	0.51	0.0342	(0.4379, 0.5820)	(0.3824, 0.6376)

Figura 83. Graficas de Residuales para el modelo de a.



6.11.8 Regresión para mezclas: b vs. Clinker, yeso, caliza

Selección de términos escalonada

Términos candidatos: Clinker, yeso, caliza, Clinker*yeso, Clinker*caliza, yeso*caliza, Clinker*yeso*caliza, *yeso*(-), Clinker*caliza*(-), yeso*caliza*(-)

Tabla 36. Tabla de Resultados de la Regresión escalonada para “b”.

Terminos elegidos	----Paso 1----		----Paso 2----		----Paso 3----	
	Coeficiente	Valor p	Coeficiente	Valor p	Coeficiente	Valor p
clinker	8.923 *		10.768 *		11.722	*
yeso	6.52 *		8.365 *		8.223	*
caliza	4.729 *		4.219 *		5.052	*
clinker*yeso			-17.11	0.000	-17.99	0.000
clinker*caliza					-7.96	0.000
clinker*yeso*(-)						
clinker*yeso*caliza						
S		1.4777		0.7886		0.5284
R-cuadrado		40.33%		83.74%		93.03%
R-cuadrado(ajustado)		35.14%		81.53%		91.71%
R-cuadrado (pred)		17.92%		75.85%		88.69%
Cp de Mallows		195.75		40.78		9.19
	----Paso 4----		----Paso 5----			
	Coeficiente	Valor p	Coeficiente	Valor p		
clinker	11.53	*	11.453	*		
yeso	8.39	*	8.44	*		
caliza	5.026	*	5.071	*		
clinker*yeso	-17.96	0.000	-17.11	0.000		
clinker*caliza	-7.71	0.000	-6.85	0.000		
clinker*yeso*(-)	5.92	0.057	6.08	0.042		
clinker*yeso*caliza			-15.8	0.089		
S		0.49350		0.46818		
R-cuadrado		94.21%		95.05%		
R-cuadrado(ajustado)		92.77%		93.49%		
R-cuadrado (pred)		89.32%		89.72%		
Cp de Mallows		6.93		5.89		

α a entrar = 0.15, α a retirar = 0.15

Tabla 37. Coeficientes de regresión estimados para b (proporciones del componente)

Término	Coefficiente	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
clinker	11.453	0.32	*	*	2.55
yeso	8.44	0.273	*	*	1.85
caliza	5.071	0.261	*	*	1.7
clinker*yeso	-17.11	1.42	-12.08	0.000	2.5
clinker*caliza	-6.85	1.42	-4.82	0.000	2.52
clinker*yeso*caliza	-15.8	8.8	-1.79	0.089	1.7
clinker*yeso*(-)	6.08	2.78	2.18	0.042	1.21

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	PRESS	R-cuadrado (pred)
0.468180	95.05%	93.49%	8.64870	89.72%

Tabla 38. Análisis de varianza para b (proporciones del componente)

Fuente	Grados de Libertad	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	6	79.9988	79.9988	13.3331	60.83	0.000
Lineal	2	33.9442	56.275	28.1375	128.37	0.000
Cuadrático	2	44.356	33.1387	16.5693	75.59	0.000
clinker*yeso	1	36.5379	31.9812	31.9812	145.9	0.000
clinker*caliza	1	7.8181	5.0859	5.0859	23.2	0.000
Cúbico especial	1	0.6539	0.7062	0.7062	3.22	0.089
clinker*yeso*caliza	1	0.6539	0.7062	0.7062	3.22	0.089
Cúbico completo	1	1.0447	1.0447	1.0447	4.77	0.042
clinker*yeso*(-)	1	1.0447	1.0447	1.0447	4.77	0.042
Error residual	19	4.1647	4.1647	0.2192		
Falta de ajuste	6	1.0392	1.0392	0.1732	0.72	0.641
Error puro	13	3.1255	3.1255	0.2404		
Total	25	84.1634				

Tabla 39. Ajustes y diagnósticos para todas las observaciones de “b”.

Observacion	Orden Est.	b	Ajuste	EE de ajuste	Residual	Resid est.	
1	16	8.3	7.803	0.239	0.497	1.23	
2	1	11.79	11.453	0.32	0.337	0.99	
3	2	8.05	7.097	0.296	0.953	2.63	R
4	19	6.17	5.676	0.237	0.494	1.22	
5	25	6.13	5.659	0.2	0.471	1.11	
6	13	5.3	5.167	0.162	0.133	0.3	
7	11	7.23	7.27	0.2	-0.04	-0.1	
8	9	6.03	6.194	0.173	-0.164	-0.38	
9	15	6.68	7.097	0.296	-0.417	-1.15	
10	6	5.67	5.676	0.237	-0.006	-0.01	
11	26	4.95	5.167	0.162	-0.217	-0.49	
12	21	6.68	7.317	0.178	-0.637	-1.47	
13	22	6.04	6.194	0.173	-0.154	-0.35	
14	5	5.15	5.074	0.255	0.076	0.19	
15	10	5.1	5.071	0.261	0.029	0.08	
16	4	5.12	5.193	0.296	-0.073	-0.2	
17	12	5.91	5.659	0.2	0.251	0.59	
18	24	6.59	7.27	0.2	-0.68	-1.61	
19	3	7.11	7.803	0.239	-0.693	-1.72	
20	18	5.04	5.074	0.255	-0.034	-0.09	
21	17	4.72	5.193	0.296	-0.473	-1.3	
22	20	8.11	8.44	0.273	-0.33	-0.87	
23	23	5.1	5.071	0.261	0.029	0.08	
24	7	8.83	8.44	0.273	0.39	1.03	
25	8	7.76	7.317	0.178	0.443	1.02	
26	14	11.27	11.453	0.32	-0.183	-0.54	

Residuo grande R

Tabla 40. Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para b

Punto	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
1	7.803	0.239	(7.302, 8.305)	(6.703, 8.904)
2	11.453	0.32	(10.783, 12.123)	(10.266, 12.640)
3	7.097	0.296	(6.478, 7.717)	(5.938, 8.257)
4	5.676	0.237	(5.180, 6.172)	(4.578, 6.774)
5	5.659	0.2	(5.240, 6.079)	(4.594, 6.725)
6	5.167	0.162	(4.828, 5.506)	(4.130, 6.204)
7	7.27	0.2	(6.851, 7.690)	(6.204, 8.336)
8	6.194	0.173	(5.832, 6.555)	(5.149, 7.238)
9	7.097	0.296	(6.478, 7.717)	(5.938, 8.257)
10	5.676	0.237	(5.180, 6.172)	(4.578, 6.774)
11	5.167	0.162	(4.828, 5.506)	(4.130, 6.204)
12	7.317	0.178	(6.943, 7.690)	(6.268, 8.366)
13	6.194	0.173	(5.832, 6.555)	(5.149, 7.238)
14	5.074	0.255	(4.541, 5.607)	(3.959, 6.190)
15	5.071	0.261	(4.524, 5.618)	(3.948, 6.193)
16	5.193	0.296	(4.573, 5.813)	(4.033, 6.352)
17	5.659	0.2	(5.240, 6.079)	(4.594, 6.725)
18	7.27	0.2	(6.851, 7.690)	(6.204, 8.336)
19	7.803	0.239	(7.302, 8.305)	(6.703, 8.904)
20	5.074	0.255	(4.541, 5.607)	(3.959, 6.190)
21	5.193	0.296	(4.573, 5.813)	(4.033, 6.352)
22	8.44	0.273	(7.869, 9.011)	(7.306, 9.574)
23	5.071	0.261	(4.524, 5.618)	(3.948, 6.193)
24	8.44	0.273	(7.869, 9.011)	(7.306, 9.574)
25	7.317	0.178	(6.943, 7.690)	(6.268, 8.366)
26	11.453	0.32	(10.783, 12.123)	(10.266, 12.640)

Figura 84. Gráficas de Residuales para el modelo de b.

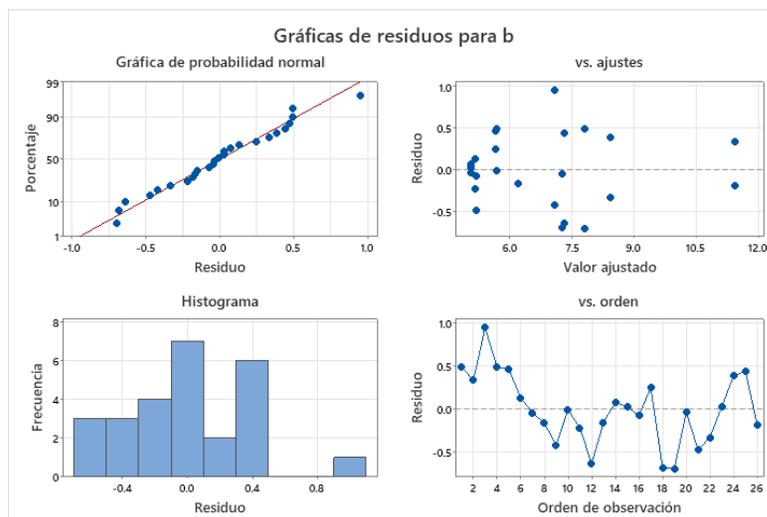


Figura 85. Diagrama ternario de mezclas, Clinker tiende a afectar el parámetro L de color hacia tonos oscuros.

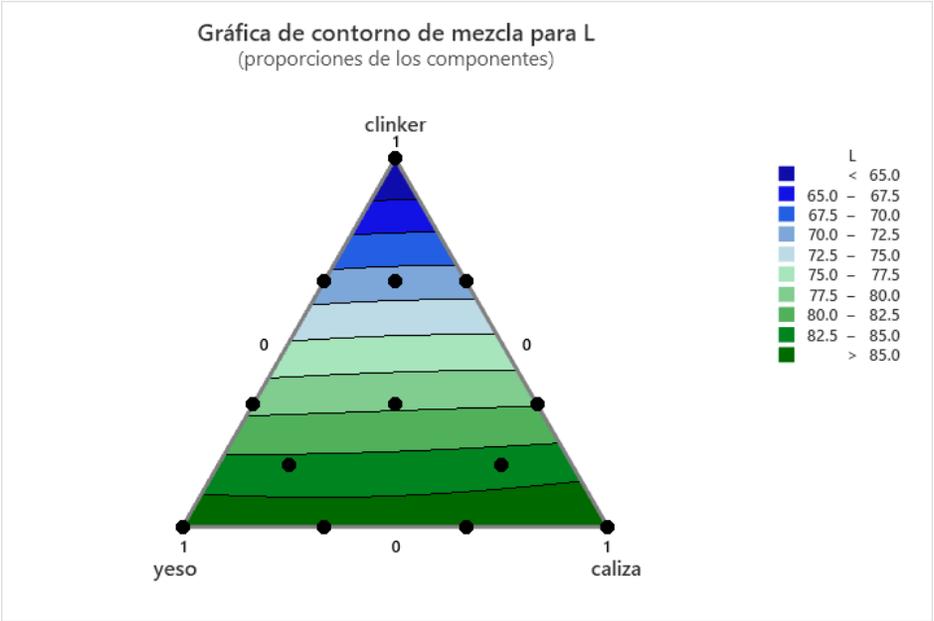
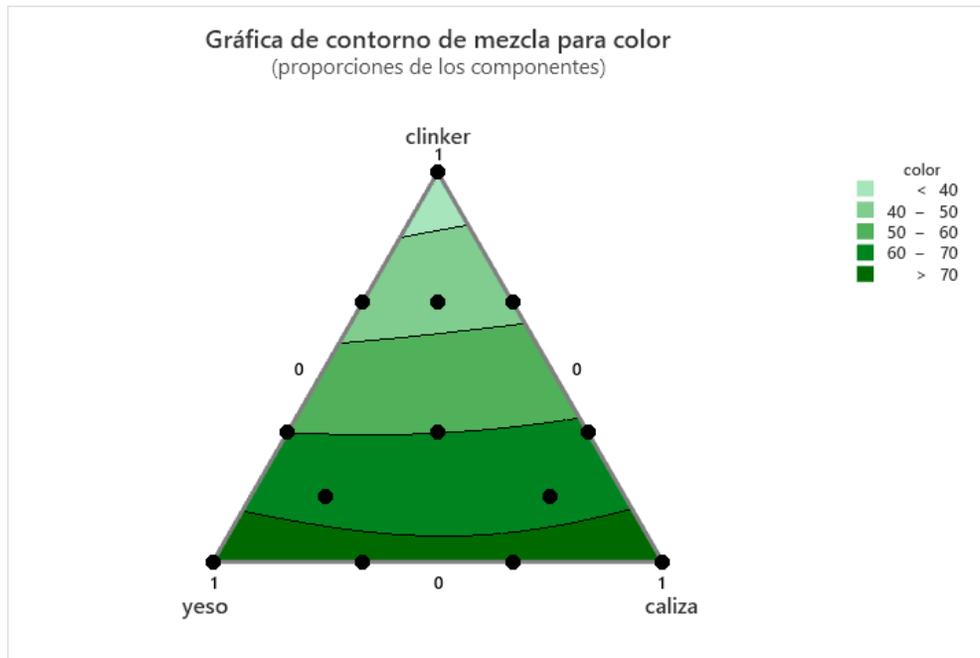


Figura 86. . Diagrama ternario de mezclas, Clinker tiende a afectar el Color hacia tonos oscuros.



6.11.9 Conclusiones

A partir de los resultados obtenido se pudo concluir que prácticamente en este sistema de tres materiales el Clinker contribuye a dar tonalidad más oscura, mientras que la caliza y el yeso prácticamente y en similar proporción contribuyen a dar tonalidad más clara.

El modelo resultante para color es:

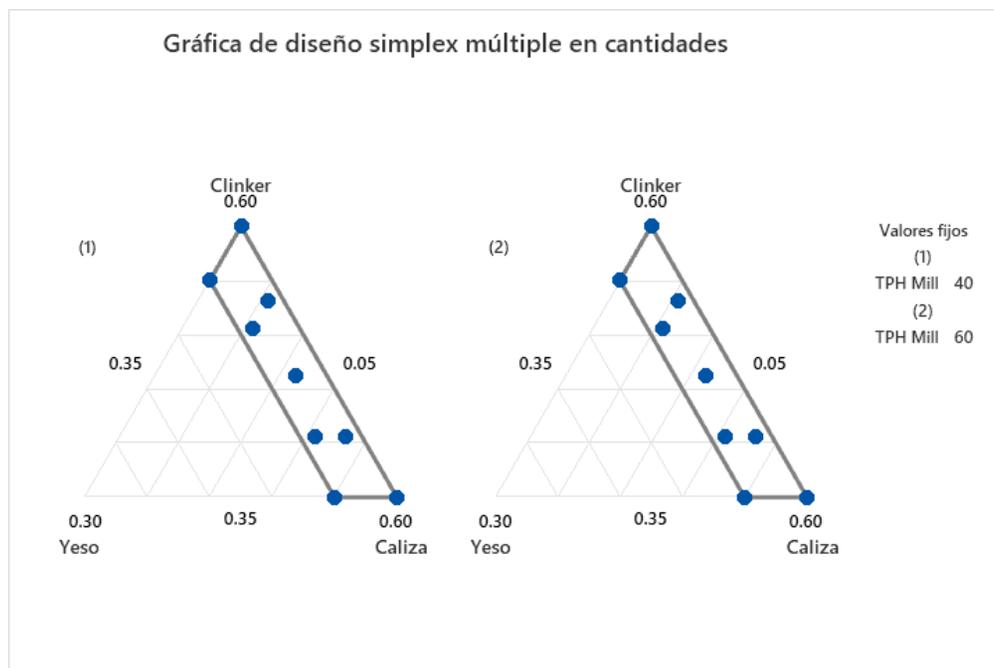
$$Color = 34.39x\%clinker + 76.19x\%yeso + 76.32x\%caliza - 10.76x\%clinkerx\%yeso - 14.7x\%yesox\%caliza + 23.11x\%yesox\%calizax(-)$$

6.12 Diseño de Mezclas: Pruebas Industriales

Dada la complejidad del proceso de producción y la oportunidad limitada de hacer pruebas industriales, se ha optado por desarrollar un diseño de mezclas múltiple y con cantidades, en el cual se definieron ciertos rangos de prueba para los diferentes materiales buscando así eventos que reflejaran la oportunidad de mejora.

Se corrieron 18 pruebas con 3 componentes de mezcla y una variable de proceso que fue las toneladas por hora de alimentación al molino, se definió esta variable como alternativa a la finura de Blaine, dado que esta podría ser manejada rápidamente logrando un Blaine relativo al experimento corrido.

Figura 87. *Diseño Simplex múltiple - Una variable de proceso (TPH)*



También se mantuvieron otras variables de proceso, como la velocidad del separador y la succión del filtro de bolsas fijos para que no afectasen el comportamiento del proceso.

Tabla 41. *Corridas experimentales de mezcla, arreglo aleatorizado.*

Orden Est	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	Clinker	Yeso	Caliza	TPH Molino
4	1	1	1	55%	10%	35%	40
1	2	1	1	35%	10%	55%	40
13	3	1	1	55%	10%	35%	60
11	4	1	1	60%	5%	35%	60
18	5	-1	1	51%	9%	41%	60
6	6	-1	1	41%	9%	51%	40
3	7	1	1	35%	5%	60%	40
17	8	-1	1	41%	6%	53%	60
2	9	1	1	60%	5%	35%	40
10	10	1	1	35%	10%	55%	60
15	11	-1	1	41%	9%	51%	60
5	12	0	1	46%	8%	46%	40
9	13	-1	1	51%	9%	41%	40
8	14	-1	1	41%	6%	53%	40
16	15	-1	1	53%	6%	41%	60
14	16	0	1	46%	8%	46%	60
12	17	1	1	35%	5%	60%	60
7	18	-1	1	53%	6%	41%	40

Tabla 42. *Misma tabla de corridas de mezcla con variables de proceso codificadas.*

Orden Est	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	Clinker	Yeso	Caliza	TPH Mill
4	1	1	1	55%	10%	35%	-
1	2	1	1	35%	10%	55%	-
13	3	1	1	55%	10%	35%	+
11	4	1	1	60%	5%	35%	+
18	5	-1	1	51%	9%	41%	+
6	6	-1	1	41%	9%	51%	-
3	7	1	1	35%	5%	60%	-
17	8	-1	1	41%	6%	53%	+
2	9	1	1	60%	5%	35%	-
10	10	1	1	35%	10%	55%	+
15	11	-1	1	41%	9%	51%	+
5	12	0	1	46%	8%	46%	-
9	13	-1	1	51%	9%	41%	-
8	14	-1	1	41%	6%	53%	-
16	15	-1	1	53%	6%	41%	+
14	16	0	1	46%	8%	46%	+
12	17	1	1	35%	5%	60%	+
7	18	-1	1	53%	6%	41%	-

Tabla 43. Resumen de Resultados de prueba por mezcla

OrdenEst	OrdenCorr	TipoPt	Bloques	Clinker	Yeso	Caliza	Toneladas por hora Molino	Nivel Codificado - Ton por hora	Color	L	a	b	3Day (PSI)
4	1	1	1	0.55	0.1	0.35	40	-	47.5	72.95	0.01	6.37	1160
1	2	1	1	0.35	0.1	0.55	40	-	56.1	78.79	0.06	5.13	440
13	3	1	1	0.55	0.1	0.35	60	+	47.5	73.01	0.01	6.63	1160
11	4	1	1	0.6	0.05	0.35	60	+	45.6	71.95	0.04	7.01	2430
18	5	-1	1	0.50625	0.0875	0.40625	60	+	48.4	73.7	0.06	6.5	1190
6	6	-1	1	0.40625	0.0875	0.50625	40	-	52.4	76.49	0.11	6.05	500
3	7	1	1	0.35	0.05	0.6	40	-	56.2	78.77	0.1	5.76	370
17	8	-1	1	0.40625	0.0625	0.53125	60	+	52.8	76.9	0.05	5.76	700
2	9	1	1	0.6	0.05	0.35	40	-	46.6	72.92	0.04	6.68	2140
10	10	1	1	0.35	0.1	0.55	60	+	54.7	78.52	0.11	5.79	580
15	11	-1	1	0.40625	0.0875	0.50625	60	+	52.9	77.23	0.02	5.7	630
5	12	0	1	0.4625	0.075	0.4625	40	-	50.8	76.14	0.02	6	770
9	13	-1	1	0.50625	0.0875	0.40625	40	-	50.6	74.84	0.02	6.1	730
8	14	-1	1	0.40625	0.0625	0.53125	40	-	53	76.2	0.1	5.91	550
16	15	-1	1	0.53125	0.0625	0.40625	60	+	48.7	74	0.01	6.63	1630
14	16	0	1	0.4625	0.075	0.4625	60	+	50.2	74.3	0.23	6.57	900
12	17	1	1	0.35	0.05	0.6	60	+	53.9	76.74	0.16	6.06	669
7	18	-1	1	0.53125	0.0625	0.40625	40	-	48.7	73.36	0.05	6.27	1520

Tabla 44. Comparativos de resultados a diferente nivel de producción

			Toneladas por Hora			Toneladas por Hora			Toneladas por Hora		
			40	60		40	60		40	60	
Clinker	Yeso	Caliza	Color	Color	Diferencia	L	L	Diferencia	Resistencia a 3 días	Resistencia a 3 días	Diferencia
0.35	0.1	0.55	56.1	54.7	1.4	78.79	78.52	0.27	440	580	-140
0.6	0.05	0.35	46.6	45.6	1	72.92	71.95	0.97	2140	2430	-290
0.35	0.05	0.6	56.2	53.9	2.3	78.77	76.74	2.03	370	669	-299
0.55	0.1	0.35	47.5	47.5	0	72.95	73.01	-0.06	1160	1160	0
0.4625	0.075	0.4625	50.8	50.2	0.6	76.14	74.3	1.84	770	900	-130
0.40625	0.0875	0.50625	52.4	52.9	-0.5	76.49	77.23	-0.74	500	630	-130
0.53125	0.0625	0.40625	48.7	48.7	0	73.36	74	-0.64	1520	1630	-110
0.40625	0.0625	0.53125	53	52.8	0.2	76.2	76.9	-0.7	550	700	-150
0.50625	0.0875	0.40625	50.6	48.4	2.2	74.84	73.7	1.14	730	1190	-460
		Suma	461.9	454.7	7.2	680.46	676.35	4.11	8180	9889	-1709
		No de pares	9	9	9	9	9	9	9	9	9
		Promedio	51.32222222	50.52222222	0.8	75.60666667	75.15	0.456666667	908.8888889	1098.777778	-189.8888889

6.12.1 Pruebas de hipótesis: pruebas t sobre 2 muestras

6.12.1.1 Prueba T e IC de dos muestras: Color, TPH Mill

Método

μ_1 : media de población de Color

cuando TPH Mill = 40

μ_2 : media de población de Color

cuando TPH Mill = 60

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticos descriptivos: Color

TPH	Mill	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
40	9	51.32	3.45	1.1	
60	9	50.52	3.18	1.1	

Estimación de la diferencia

Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia
0.80	3.32	(-2.52, 4.12)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

	Valor T	GL	Valor p
	0.51	16	0.616

Figura 88. Valores individuales – Color vs. Toneladas por hora – Molino 1.

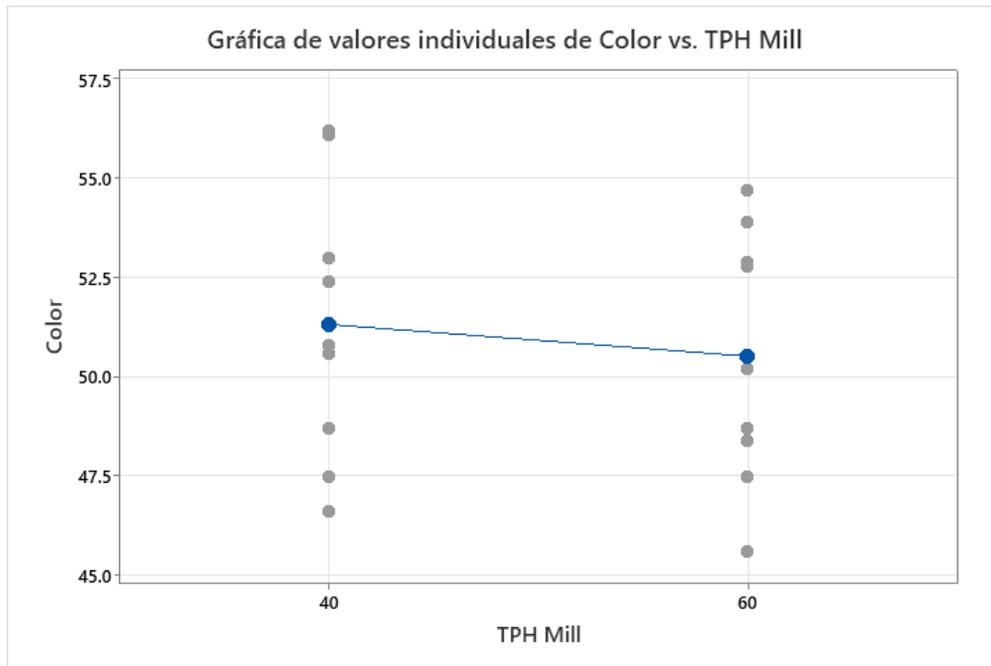
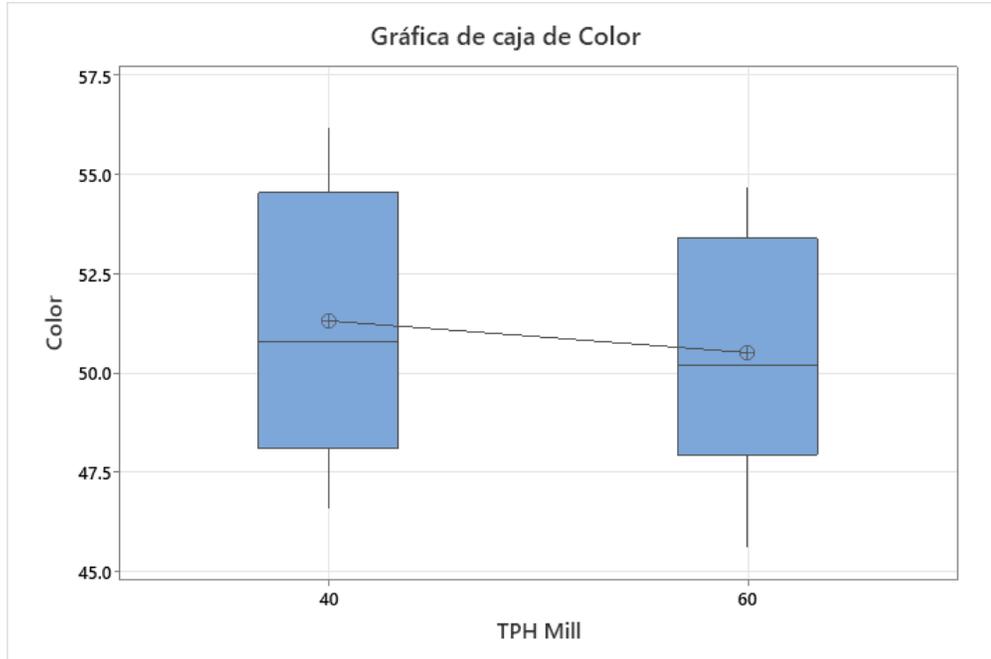


Figura 89. Gráficos de caja – Color vs. Toneladas por hora – Molino 1.



6.12.1.2 Prueba T e IC de dos muestras: L, TPH Mill

Método

μ_1 : media de población de L cuando TPH Mill = 40

μ_2 : media de población de L cuando TPH Mill = 60

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticos descriptivos: L

TPH Mill	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
40	9	75.61	2.28	0.76
60	9	75.15	2.24	0.75

Estimación de la diferencia

Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia
0.46	2.26	(-1.80, 2.71)

Prueba

Hipótesis nula

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

Hipótesis alterna

$$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Valor T	GL	Valor p
0.43	16	0.674

Figura 90. . Valores individuales – L vs. Toneladas por hora – Molino 1.

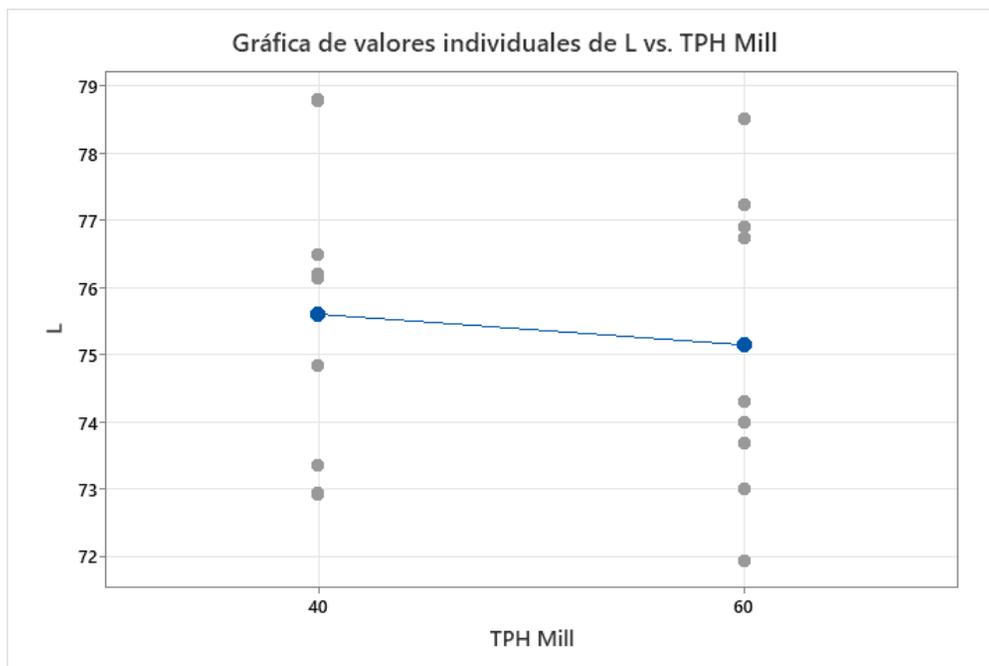
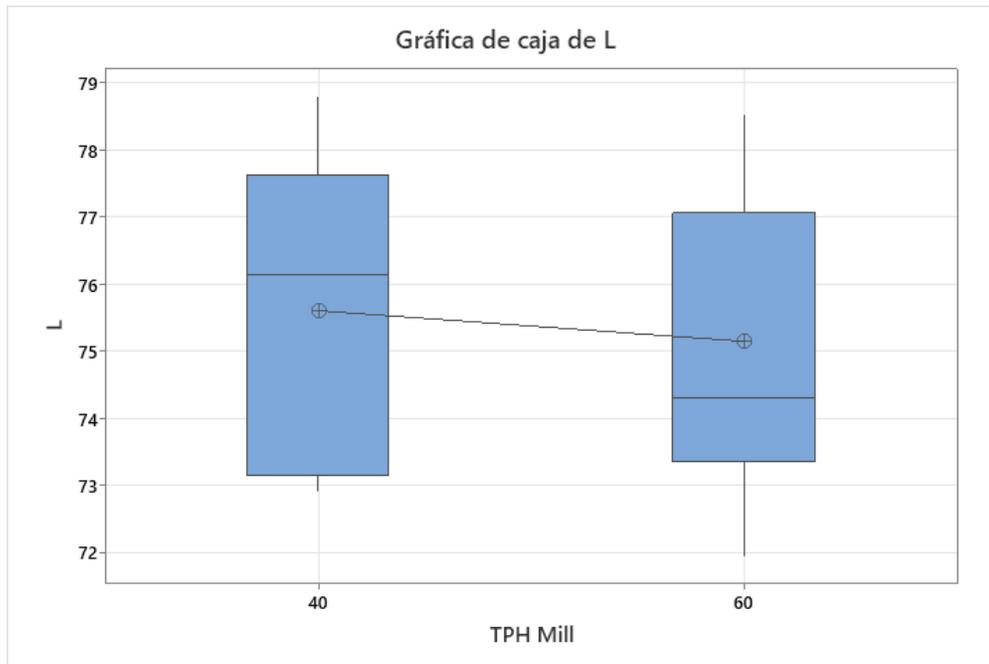


Figura 91. Gráficos de caja – L vs. Toneladas por hora – Molino 1.



6.12.1.3 Prueba T e IC de dos muestras: Resistencias a 3 Días, TPH Mill

Método

μ_1 : media de población de Resistencia a 3 Días cuando TPH Mill = 40

μ_2 : media de población de Resistencia a 3 Días cuando TPH Mill = 60

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticos descriptivos: Resistencia a 3 Días

TPH Mill	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
40	9	909	593	198
60	9	1099	606	202

Estimación de la diferencia

Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia
-190	599	(-789, 409)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-0.67	16	0.511

Figura 92. Valores individuales – Resistencia a 3 Dias (PSI) vs. Toneladas por hora – Molino 1.

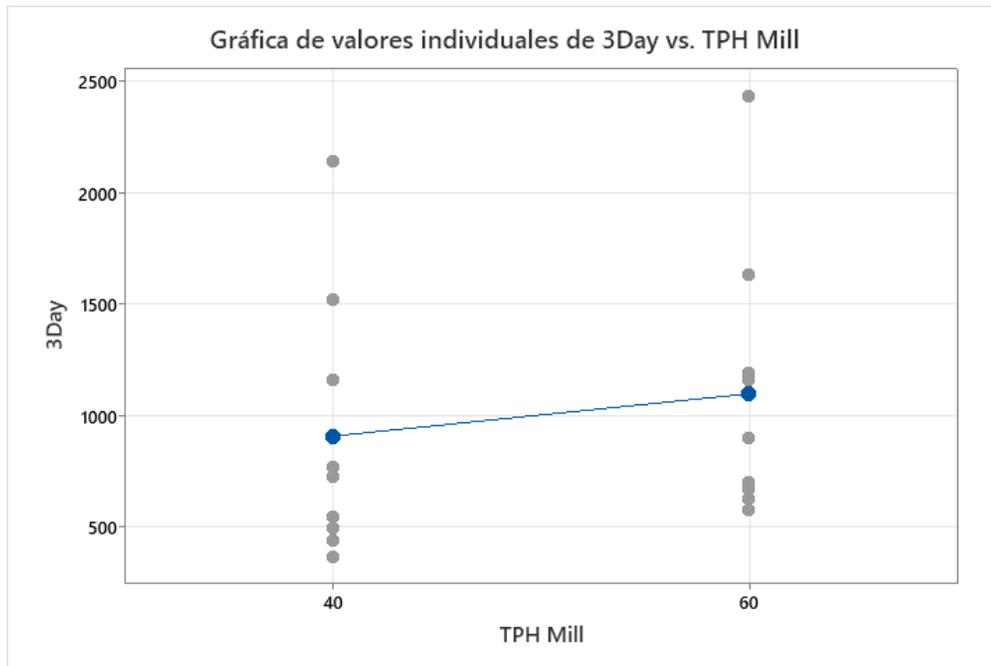
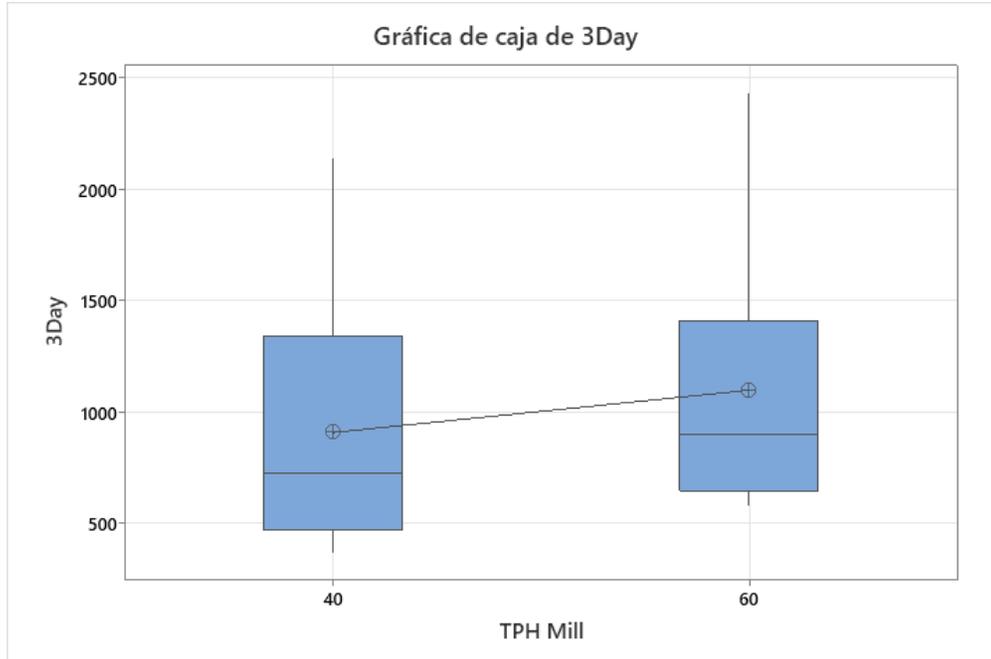


Figura 93. Gráficos de caja – Resistencia a 3 días vs. Toneladas por hora – Molino 1.



6.12.2 Regresión para mezclas: Color vs. Clinker, Yeso, Caliza, TPH Mill

Selección de términos escalonada

Términos candidatos: Clinker, Yeso, Caliza, Clinker*Yeso, Clinker*Caliza, Yeso*Caliza,

Clinker*TPH Mill, Yeso*TPH Mill, Caliza*TPH Mill, Clinker*Yeso*TPH Mill,

Clinker*Caliza*TPH

Mill, Yeso*Caliza*TPH Mill

Tabla 45. Resultados de la Regresión escalonada para Color.

Terminos elegidos	-----Paso 1-----		-----Paso 2-----	
	Coefficientes	Valor p	Coefficientes	Valor p
Clinker	31.53	*	31.53	*
Yeso	65.91	*	65.91	*
Caliza	67.88	*	67.88	*
Caliza*TPH Mill			-0.886	0.01
S		0.73508		0.59667
R-cuadrado		95.47%		97.22%
R-cuadrado(ajustado)		94.87%		96.62%
R-cuadrado (pred)		92.86%		95.36%
Cp de Mallows		2.91		-0.83

α a entrar = 0.15, α a retirar = 0.15

Tabla 46. Coeficientes de regresión estimados para Color (proporciones del componente)

Término	Coefficientes	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Clinker	31.53	1.02	*	*	11.57
Yeso	65.91	6.98	*	*	14.72
Caliza	67.88	1.02	*	*	11.57
Caliza*TPH Mill	-0.886	0.299	-2.96	0.01	1

Los coeficientes se calculan para las variables de proceso codificadas.

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	PRESS	R-cuadrado (pred)
0.596666	97.22%	96.62%	8.30267	95.36%

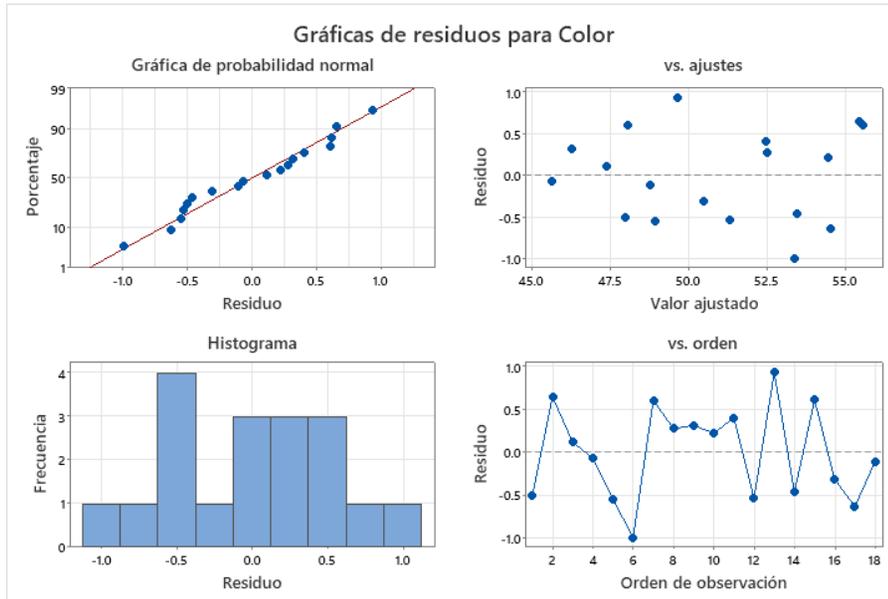
Tabla 47. *Análisis de varianza para Color (proporciones del componente)*

Fuente	Grados de Libertad	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	174.067	174.067	58.0223	162.98	0.000
Componente solamente						
Lineal	2	170.946	170.946	85.473	240.09	0.000
Componente * TPH Mill						
Lineal	1	3.121	3.121	3.1209	8.77	0.01
Caliza*TPH Mill	1	3.121	3.121	3.1209	8.77	0.01
Error residual	14	4.984	4.984	0.356		
Total	17	179.051				

Tabla 48. *Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para Color*

Punto	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
1	48.002	0.307	(47.344, 48.660)	(46.563, 49.441)
2	55.449	0.332	(54.737, 56.161)	(53.985, 56.914)
3	47.382	0.307	(46.724, 48.040)	(45.943, 48.821)
4	45.663	0.331	(44.953, 46.374)	(44.200, 47.127)
5	48.947	0.224	(48.466, 49.429)	(47.580, 50.315)
6	53.391	0.242	(52.872, 53.910)	(52.010, 54.772)
7	55.592	0.362	(54.816, 56.369)	(54.096, 57.089)
8	52.521	0.255	(51.975, 53.067)	(51.130, 53.913)
9	46.283	0.331	(45.573, 46.994)	(44.820, 47.747)
10	54.475	0.332	(53.763, 55.187)	(53.011, 55.940)
11	52.494	0.242	(51.975, 53.013)	(51.113, 53.875)
12	51.332	0.197	(50.909, 51.755)	(49.984, 52.680)
13	49.667	0.224	(49.185, 50.148)	(48.300, 51.034)
14	53.462	0.255	(52.916, 54.008)	(52.071, 54.853)
15	48.088	0.233	(47.588, 48.588)	(46.714, 49.462)
16	50.513	0.197	(50.090, 50.936)	(49.165, 51.861)
17	54.53	0.362	(53.754, 55.306)	(53.033, 56.027)
18	48.808	0.233	(48.308, 49.307)	(47.434, 50.181)

Figura 94. *Graficas de Residuales para Color.*



6.12.3 Regresión para mezclas: L vs. Clinker, Yeso, Caliza, TPH Mill

Selección de términos escalonada

Términos candidatos: Clinker, Yeso, Caliza, Clinker*Yeso, Clinker*Caliza, Yeso*Caliza, Clinker*TPH Mill, Yeso*TPH Mill, Caliza*TPH Mill, Clinker*Yeso*TPH Mill, Clinker*Caliza*TPH Mill, Yeso*Caliza*TPH Mill

Tabla 49. Resultados de la Regresion escalonada para L.

Terminos elegidos	----Paso 1----		----Paso 2----		----Paso 3----	
	Coeficientes	Valor p	Coeficientes	Valor p	Coeficientes	Valor p
Clinker	62.21	*	67.57	*	67.57	*
Yeso	89.4	*	150.2	*	150.2	*
Caliza	86.27	*	81.67	*	81.67	*
Clinker*Yeso			-142.2	0.094	-142.2	0.079
Caliza*TPH Mill					-0.501	0.121
S		0.68503		0.63921		0.60272
R-cuadrado		91.48%		93.08%		94.29%
R-cuadrado(ajustado)		90.35%		91.60%		92.53%
R-cuadrado (pred)		86.74%		87.64%		88.94%
Cp de Mallows		2.1		1.46		1.46

α a entrar = 0.15, α a retirar = 0.15

Tabla 50. Coeficientes de regresión estimados para L (proporciones del componente)

Término	Coeficiente	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Clinker	67.57	2.99	*	*	98.15
Yeso	150.2	32.7	*	*	316.11
Caliza	81.67	2.63	*	*	75.59
Clinker*Yeso	-142.2	74.6	-1.91	0.079	356.67
Caliza*TPH Mill	-0.501	0.302	-1.66	0.121	1

Los coeficientes se calculan para las variables de proceso codificadas.

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	PRESS	R-cuadrado (pred)
0.602724	94.29%	92.53%	9.14366	88.94%

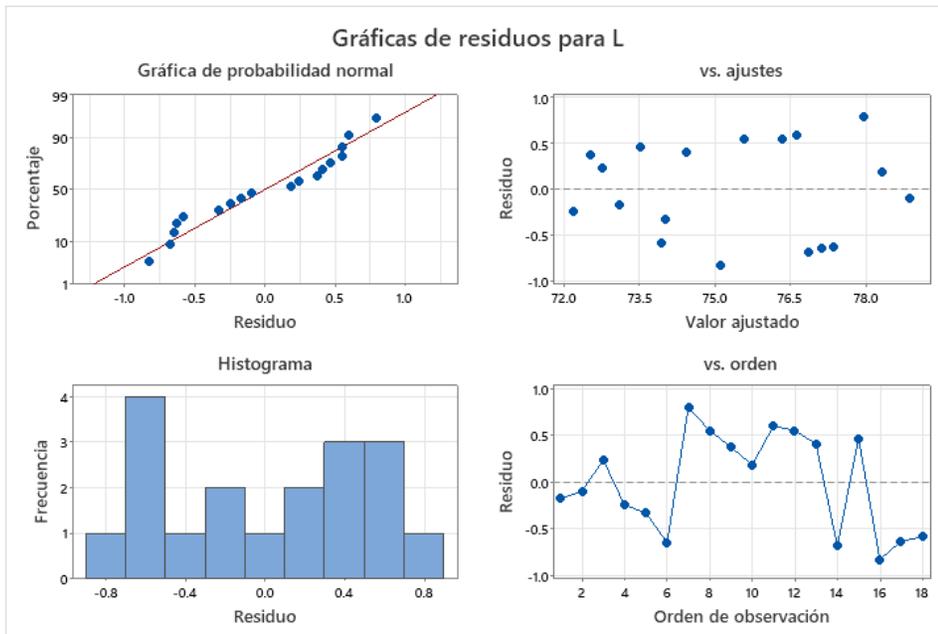
Tabla 51. Análisis de varianza para L (proporciones del componente)

Fuente	Grados de Libertad	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	4	77.9253	77.9253	19.4813	53.63	0
Componente solamente						
Lineal	2	75.6089	58.1568	29.0784	80.05	0
Cuadrático	1	1.3188	1.3188	1.3188	3.63	0.079
Clinker*Yeso	1	1.3188	1.3188	1.3188	3.63	0.079
Componente * TPH Mill						
Lineal	1	0.9976	0.9976	0.9976	2.75	0.121
Caliza*TPH Mill	1	0.9976	0.9976	0.9976	2.75	0.121
Error residual	13	4.7226	4.7226	0.3633		
Total	17	82.6478				

Tabla 52. Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para L

Punto	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
1	73.121	0.376	(72.308, 73.933)	(71.586, 74.655)
2	78.884	0.409	(78.001, 79.767)	(77.311, 80.458)
3	72.77	0.376	(71.958, 73.583)	(71.235, 74.305)
4	72.193	0.389	(71.353, 73.032)	(70.644, 73.742)
5	74.024	0.238	(73.510, 74.538)	(72.624, 75.424)
6	77.135	0.251	(76.592, 77.677)	(75.724, 78.545)
7	77.97	0.406	(77.093, 78.848)	(76.400, 79.541)
8	76.346	0.261	(75.783, 76.909)	(74.927, 77.764)
9	72.543	0.389	(71.704, 73.383)	(70.994, 74.093)
10	78.333	0.409	(77.450, 79.217)	(76.760, 79.907)
11	76.628	0.251	(76.085, 77.170)	(75.217, 78.038)
12	75.585	0.2	(75.154, 76.017)	(74.213, 76.957)
13	74.431	0.238	(73.917, 74.945)	(73.031, 75.831)
14	76.878	0.261	(76.315, 77.441)	(75.459, 78.296)
15	73.535	0.237	(73.023, 74.047)	(72.136, 74.934)
16	75.122	0.2	(74.691, 75.553)	(73.750, 76.494)
17	77.37	0.406	(76.492, 78.247)	(75.800, 78.940)
18	73.942	0.237	(73.430, 74.454)	(72.543, 75.341)

Figura 95. Gráficos de residuales para L.



6.12.4 Regresión para mezclas: a vs. Clinker, Yeso, Caliza, TPH Mill

Selección de términos escalonada

Términos candidatos: Clinker, Yeso, Caliza, Clinker*Yeso, Clinker*Caliza, Yeso*Caliza, Clinker*TPH Mill, Yeso*TPH Mill, Caliza*TPH Mill, Clinker*Yeso*TPH Mill, Clinker*Caliza*TPH Mill, Yeso*Caliza*TPH Mill

Tabla 53. Resultados de la Regresion escalonada para a. El R-cuadrado muy bajo

Terminos elegidos	-----Paso 1-----	
	Coef	P
Clinker	-0.0664	*
Yeso	-0.488	*
Caliza	0.2897	*
S		0.05235
R-cuadrado		31.04%
R-cuadrado(ajustado)		21.84%
R-cuadrado (pred)		16.99%
Cp de Mallows		-5.43

α a entrar = 0.15, α a retirar = 0.15

Tabla 54. Coeficientes de regresión estimados para a (proporciones del componente)

Término	Coeficientes	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Clinker	-0.0664	0.0892	*	*	11.57
Yeso	-0.488	0.613	*	*	14.72
Caliza	0.2897	0.0892	*	*	11.57

Los coeficientes se calculan para las variables de proceso codificadas.

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	PRESS	R-cuadrado (pred)
0.0523470	31.04%	21.84%	0.0494739	16.99%

Tabla 55. *Análisis de varianza para a (proporciones del componente)*

Fuente	Grados de Libertad	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	2	0.0185	0.0185	0.0092	3.38	0.062
Lineal	2	0.0185	0.0185	0.0092	3.38	0.062
Error residual	15	0.0411	0.0411	0.0027		
Total	17	0.0596				

Tabla 56. *Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes*

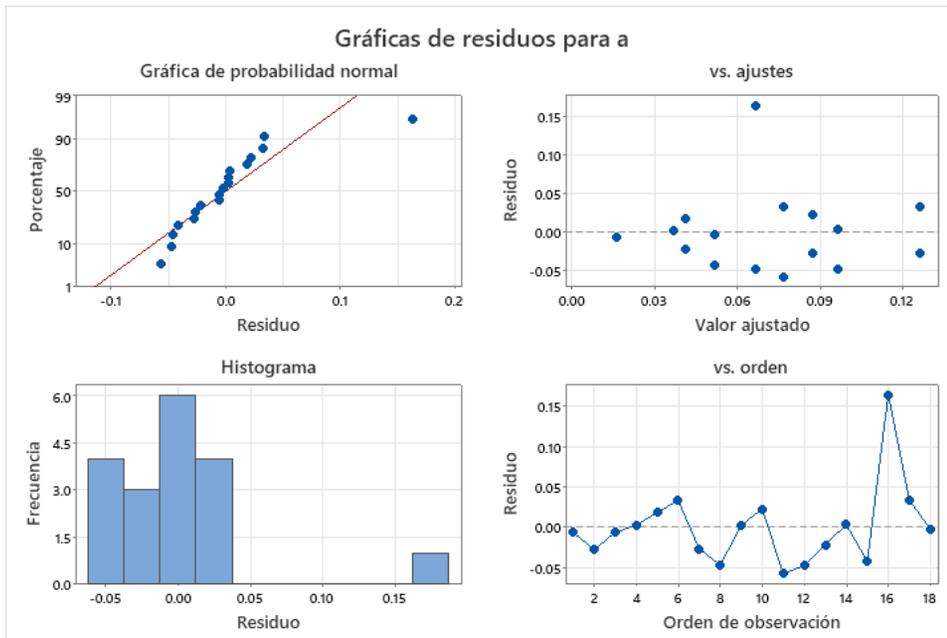
Observacion	Orden Est.	a	Ajuste	EE de ajuste	Residual	Resid est.	
16	14	0.23	0.0667	0.0123	0.1633	3.21	R

Residuo grande R

Tabla 57. Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para a

Punto	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
1	0.0161	0.0253	(-0.0379, 0.0700)	(-0.1079, 0.1400)
2	0.0873	0.0253	(0.0333, 0.1412)	(-0.0366, 0.2112)
3	0.0161	0.0253	(-0.0379, 0.0700)	(-0.1079, 0.1400)
4	0.0372	0.0276	(-0.0216, 0.0959)	(-0.0890, 0.1633)
5	0.0414	0.0166	(0.0061, 0.0767)	(-0.0757, 0.1584)
6	0.077	0.0166	(0.0417, 0.1123)	(-0.0401, 0.1940)
7	0.1262	0.0276	(0.0674, 0.1850)	(0.0001, 0.2523)
8	0.0964	0.0174	(0.0592, 0.1336)	(-0.0212, 0.2140)
9	0.0372	0.0276	(-0.0216, 0.0959)	(-0.0890, 0.1633)
10	0.0873	0.0253	(0.0333, 0.1412)	(-0.0366, 0.2112)
11	0.077	0.0166	(0.0417, 0.1123)	(-0.0401, 0.1940)
12	0.0667	0.0123	(0.0404, 0.0930)	(-0.0480, 0.1813)
13	0.0414	0.0166	(0.0061, 0.0767)	(-0.0757, 0.1584)
14	0.0964	0.0174	(0.0592, 0.1336)	(-0.0212, 0.2140)
15	0.0519	0.0174	(0.0147, 0.0891)	(-0.0657, 0.1695)
16	0.0667	0.0123	(0.0404, 0.0930)	(-0.0480, 0.1813)
17	0.1262	0.0276	(0.0674, 0.1850)	(0.0001, 0.2523)
18	0.0519	0.0174	(0.0147, 0.0891)	(-0.0657, 0.1695)

Figura 96. Gráfico de residuales para a.



6.12.5 Regresión para mezclas: b vs. Clinker, Yeso, Caliza, TPH Mill

Selección de términos escalonada

Términos candidatos: Clinker, Yeso, Caliza, Clinker*Yeso, Clinker*Caliza, Yeso*Caliza, Clinker*TPH Mill, Yeso*TPH Mill, Caliza*TPH Mill, Clinker*Yeso*TPH Mill, Clinker*Caliza*TPH Mill, Yeso*Caliza*TPH Mill

Tabla 58. Resultados de Regresion escalonada para “b”.

Terminos elegidos	-----Paso 1-----		-----Paso 2-----	
	Coef	P	Coef	P
Clinker	8.862	*	8.862	*
Yeso	-0.13	*	-0.13	*
Caliza	4.482	*	4.482	*
Clinker*TPH Mill			0.2842	0.013
S		0.24101		0.19816
R-cuadrado		75.92%		84.80%
R-cuadrado(ajustado)		72.71%		81.55%
R-cuadrado (pred)		64.65%		76.69%
Cp de Mallows		0.57		-2.07

α a entrar = 0.15, α a retirar = 0.15

Tabla 59. Coeficientes de regresión estimados para b (proporciones del componente)

Término	Coeficientes	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Clinker	8.862	0.338	*	*	11.57
Yeso	-0.13	2.32	*	*	14.72
Caliza	4.482	0.338	*	*	11.57
Clinker*TPH Mill	0.2842	0.0993	2.86	0.013	1

Los coeficientes se calculan para las variables de proceso codificadas.

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	PRESS	R-cuadrado (pred)
0.198155	84.80%	81.55%	0.843211	76.69%

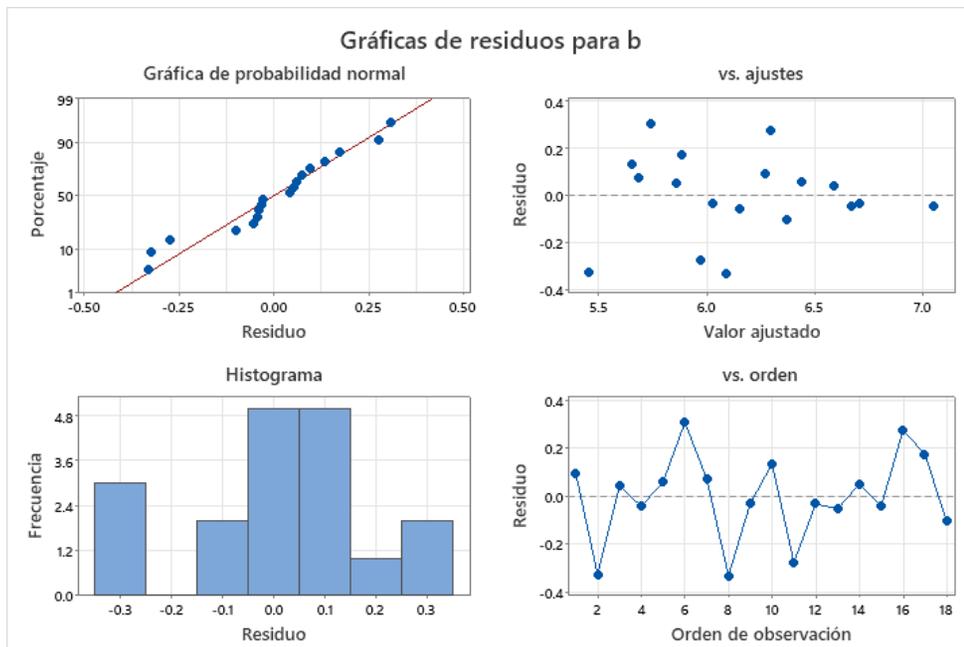
Tabla 60. *Análisis de varianza para b (proporciones del componente)*

Fuente	Grados de Libertad	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	3.068	3.068	1.0227	26.04	0.000
Componente solamente						
Lineal	2	2.7465	2.7465	1.3732	34.97	0.000
Componente * TPH Mill						
Lineal	1	0.3215	0.3215	0.3215	8.19	0.013
Clinker*TPH Mill	1	0.3215	0.3215	0.3215	8.19	0.013
Error residual	14	0.5497	0.5497	0.0393		
Total	17	3.6177				

Tabla 61. Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para *b*

Punto	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
1	6.274	0.11	(6.037, 6.510)	(5.787, 6.760)
2	5.455	0.102	(5.236, 5.673)	(4.977, 5.933)
3	6.587	0.11	(6.350, 6.823)	(6.100, 7.073)
4	7.05	0.12	(6.792, 7.308)	(6.553, 7.547)
5	6.4401	0.0804	(6.2677, 6.6124)	(5.9815, 6.8987)
6	5.7428	0.0745	(5.5829, 5.9027)	(5.2887, 6.1969)
7	5.685	0.11	(5.449, 5.921)	(5.199, 6.171)
8	6.089	0.0774	(5.9230, 6.2549)	(5.6327, 6.5452)
9	6.709	0.12	(6.451, 6.967)	(6.212, 7.206)
10	5.654	0.102	(5.435, 5.872)	(5.176, 6.132)
11	5.9737	0.0745	(5.8138, 6.1336)	(5.5196, 6.4278)
12	6.0308	0.0655	(5.8903, 6.1713)	(5.5831, 6.4784)
13	6.1523	0.0804	(5.9799, 6.3247)	(5.6937, 6.6109)
14	5.858	0.0774	(5.6921, 6.0240)	(5.4018, 6.3143)
15	6.6719	0.0845	(6.4907, 6.8532)	(6.2099, 7.1340)
16	6.2937	0.0655	(6.1532, 6.4342)	(5.8461, 6.7413)
17	5.884	0.11	(5.648, 6.120)	(5.398, 6.370)
18	6.3699	0.0845	(6.1887, 6.5512)	(5.9079, 6.8320)

Figura 97. Gráfico de residuales para “b”.



6.12.6 Regresión para mezclas: Blaine vs. Clinker, Yeso, Caliza, TPH Mill

Selección de términos escalonada

Términos candidatos: Clinker, Yeso, Caliza, Clinker*Yeso, Clinker*Caliza, Yeso*Caliza, Clinker*TPH Mill, Yeso*TPH Mill, Caliza*TPH Mill, Clinker*Yeso*TPH Mill, Clinker*Caliza*TPH Mill, Yeso*Caliza*TPH Mill

Tabla 62. Resultados de Regresion escalonada para Blaine.

Terminos elegidos	----Paso 1----		----Paso 2----	
	Coeficientes	Valor p	Coeficientes	Valor p
Clinker	3051	*	3051	*
Yeso	18172	*	18172	*
Caliza	11613	*	11613	*
Clinker*TPH Mill			-728	0.000
S		458.333		272.694
R-cuadrado		76.27%		92.16%
R-cuadrado(ajustado)		73.11%		90.48%
R-cuadrado (pred)		62.60%		86.86%
Cp de Mallows		46.47		9.32

α a entrar = 0.15, α a retirar = 0.15

Tabla 63. Coeficientes de regresión estimados para Blaine (proporciones del componente)

Término	Coeficientes	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Clinker	3051	465	*	*	11.57
Yeso	18172	3191	*	*	14.72
Caliza	11613	465	*	*	11.57
Clinker*TPH Mill	-728	137	-5.33	0.000	1

Los coeficientes se calculan para las variables de proceso codificadas.

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	PRESS	R-cuadrado (pred)
272.694	92.16%	90.48%	1745269	86.86%

Tabla 64. *Análisis de varianza para Blaine (proporciones del componente)*

Fuente	Grados de Libertad	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	12238981	12238981	4079660	55	0.000
Componente solamente						
Lineal	2	10129011	10129011	5064506	68	0.000
Componente * TPH Mill						
Lineal	1	2109970	2109970	2109970	28	0.000
Clinker*TPH Mill	1	2109970	2109970	2109970	28	0.000
Error residual	14	1041069	1041069	74362		
Total	17	13280050				

Tabla 65. *Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes*

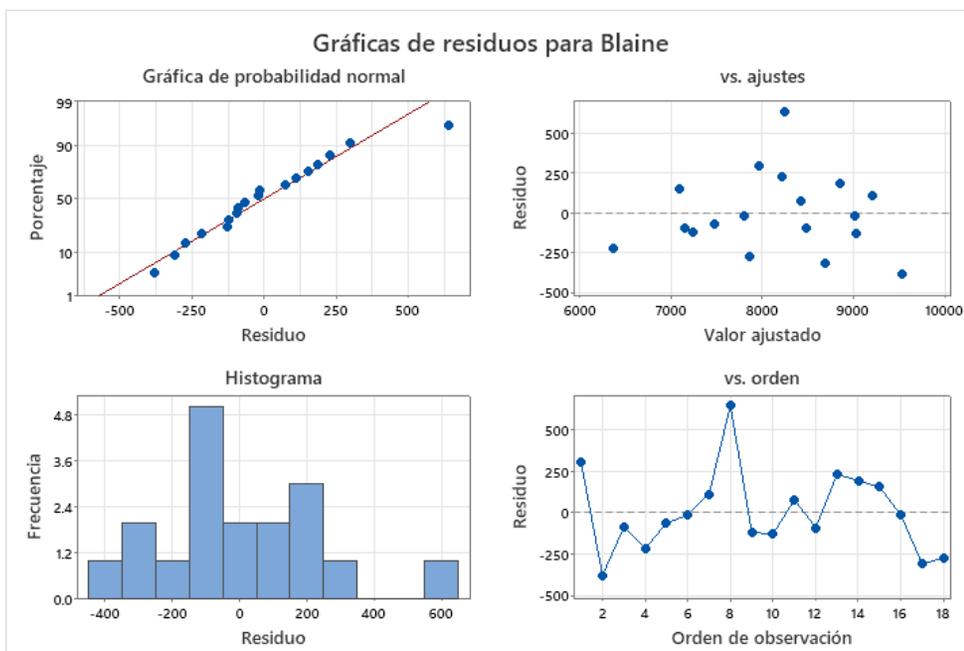
Observacion	Orden Est.	Blaine	Ajuste	EE de ajuste	Residual	Resid est.	
8	17	8890	8249	106	641	2.55	R

Residuo grande R

Tabla 66. Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para Blaine

Punto	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
1	7960	152	(7635, 8286)	(7291, 8629)
2	9527	140	(9226, 9828)	(8869, 10185)
3	7159	152	(6834, 7485)	(6490, 7829)
4	6367	165	(6012, 6722)	(5683, 7051)
5	7484	111	(7247, 7721)	(6853, 8115)
6	9004	103	(8784, 9224)	(8380, 9629)
7	9199	151	(8874, 9524)	(8530, 9868)
8	8249	106	(8020, 8477)	(7621, 8877)
9	7240	165	(6886, 7595)	(6556, 7925)
10	9017	140	(8717, 9318)	(8360, 9675)
11	8413	103	(8193, 8633)	(7788, 9038)
12	8481.8	90.2	(8288.4, 8675.1)	(7865.7, 9097.8)
13	8221	111	(7984, 8458)	(7590, 8852)
14	8840	106	(8612, 9069)	(8213, 9468)
15	7088	116	(6838, 7337)	(6452, 7723)
16	7808.2	90.2	(7614.9, 8001.6)	(7192.2, 8424.3)
17	8690	151	(8365, 9014)	(8021, 9359)
18	7861	116	(7612, 8111)	(7225, 8497)

Figura 98. Gráfico de residuales para Blaine



6.12.7 Regresión para mezclas: Resist.a 3 Días vs. Clinker, Yeso, Caliza, TPH Mill

Selección de términos escalonada

Términos candidatos: Clinker, Yeso, Caliza, Clinker*Yeso, Clinker*Caliza, Yeso*Caliza, Clinker*TPH Mill, Yeso*TPH Mill, Caliza*TPH Mill, Clinker*Yeso*TPH Mill, Clinker*Caliza*TPH Mill, Yeso*Caliza*TPH Mill

Tabla 67. Resultados de Regresion escalonada para Resistencia a 3 días.

Terminos elegidos	----Paso 1----		-----Paso 2----	
	Coeficientes	Valor p	Coeficientes	Valor p
Clinker	4734 *		7860	*
Yeso	-9889 *		25599	*
Caliza	-960 *		-3648	*
Clinker*Yeso			-82985	0.002
Yeso*Caliza				
Clinker*Caliza*TPH				
S		243.425		177.208
R-cuadrado		84.96%		92.56%
R-cuadrado(ajustado)		82.96%		90.97%
R-cuadrado (pred)		76.20%		86.64%
Cp de Mallows		66.27		28.71
Terminos elegidos	-----Paso 3-----		-----Paso 4-----	
	Coeficientes	Valor p	Coeficientes	Valor p
Clinker	9741	*	9741	*
Yeso	349444	*	349444	*
Caliza	-1532	*	-1532	*
Clinker*Yeso	-459952	0.005	-459952	0.000
Yeso*Caliza	-380320	0.015	-380320	0.001
Clinker*Caliza*TPH			461	0.001
S		145.181		95.68
R-cuadrado		95.36%		98.14%
R-cuadrado(ajustado)		93.94%		97.37%
R-cuadrado (pred)		90.52%		95.86%
Cp de Mallows		16.13		3.67

α a entrar = 0.15, α a retirar = 0.15

Tabla 68. Coeficientes de regresión estimados para Resistencia a 3 Días.

Término	Coeficientes	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Clinker	9741	649	*	*	183.16
Yeso	349444	76312	*	*	68383.8
Caliza	-1532	649	*	*	183.16
Clinker*Yeso	-459952	89413	-5.14	0.000	20316.8
Yeso*Caliza	-380320	89413	-4.25	0.001	20316.8
Clinker*Caliza*TPH Mill	461	109	4.23	0.001	1

Los coeficientes se calculan para las variables de proceso codificadas.

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	PRESS	R-cuadrado (pred)
95.6800	98.14%	97.37%	244500	95.86%

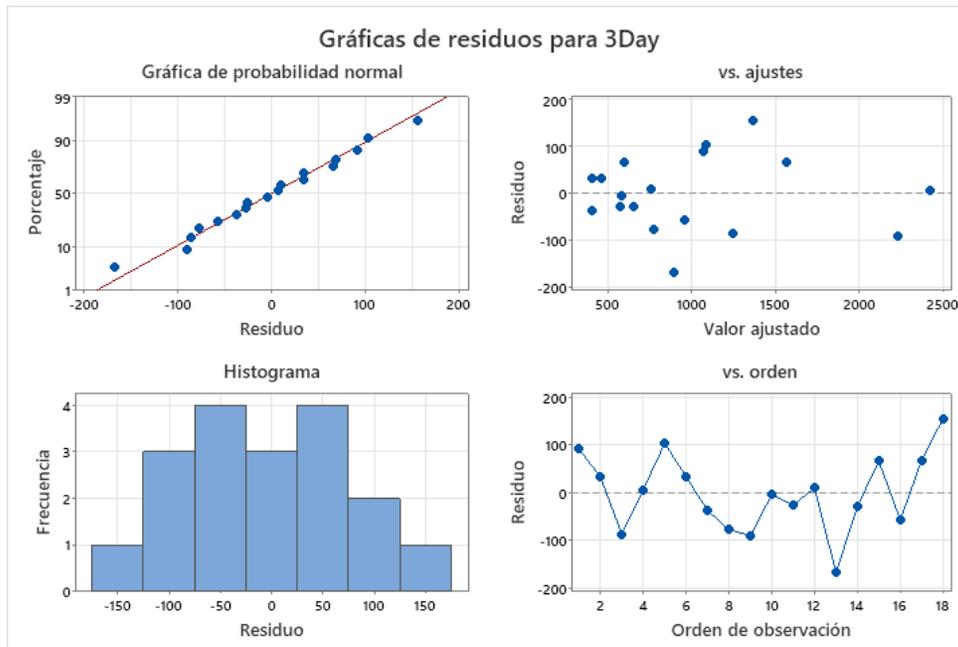
Tabla 69. Análisis de varianza para Resistencias a 3 Días (proporciones del componente)

Fuente	Grados de Libertad	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	5	5800641	5800641	1160128	126.73	0.000
Componente solamente						
Lineal	2	5021661	1713937	856968	93.61	0.000
Cuadrático	2	614827	614827	307414	33.58	0.000
Clinker*Yeso	1	449196	242253	242253	26.46	0.000
Yeso*Caliza	1	165631	165631	165631	18.09	0.001
Componente * TPH Mill						
Cuadrático	1	164153	164153	164153	17.93	0.001
Clinker*Caliza*TPH Mill	1	164153	164153	164153	17.93	0.001
Error residual	12	109856	109856	9155		
Total	17	5910496				

Tabla 70. *Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para Resistencias a 3 Días.*

Punto	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
1	1068.4	66.8	(923.0, 1213.8)	(814.2, 1322.6)
2	406.3	66.8	(260.9, 551.7)	(152.1, 660.5)
3	1246	66.8	(1100.5, 1391.4)	(991.8, 1500.2)
4	2423.3	67.6	(2276.1, 2570.5)	(2168.1, 2678.5)
5	1086.6	42.6	(993.7, 1179.4)	(858.3, 1314.8)
6	466.2	42.6	(373.4, 559.1)	(238.0, 694.4)
7	406.6	67.6	(259.4, 553.8)	(151.4, 661.8)
8	776.8	43.5	(682.1, 871.5)	(547.8, 1005.8)
9	2229.6	67.6	(2082.4, 2376.8)	(1974.4, 2484.8)
10	583.9	66.8	(438.4, 729.3)	(329.7, 838.1)
11	656	42.6	(563.1, 748.8)	(427.8, 884.2)
12	759.3	44.8	(661.6, 857.0)	(529.1, 989.5)
13	896.8	42.6	(804.0, 989.7)	(668.6, 1125.0)
14	577.7	43.5	(483.0, 672.5)	(348.7, 806.7)
15	1563.9	43.5	(1469.1, 1658.6)	(1334.9, 1792.9)
16	956.6	44.8	(858.9, 1054.3)	(726.4, 1186.8)
17	600.3	67.6	(453.1, 747.5)	(345.1, 855.5)
18	1364.8	43.5	(1270.1, 1459.5)	(1135.8, 1593.8)

Figura 99. Gráfico de residuales para Resistencias a 3 Días en ambos Morteros.



6.12.8 Resultados

A. De los estudios de causa – efecto se concluye que es importante la correcta cantidad y dosificación de Clinker, yeso y en especial la caliza, dado su efecto en los resultados de Color y resistencia.

Enfoque 1. Garantizar el correcto pesaje de materiales.

Enfoque 2. Evitar problema en la provisión de materiales hacia el proceso de molienda.

B. De los análisis de correlación y regresión

Se confirma la correlación relativa fuerte entre la resistencia y la cantidad de caliza añadida, y que hay una correlación nula entre el color y la cantidad de caliza, esto fue deducido de las correlaciones con la pérdida por ignición.

Los modelos de regresión indican que la pérdida por ignición si son significativas dado que el valor p es menor a 0.05.

Sin embargo, los valores p para falta de ajuste indican que los modelos no son adecuados para predecir el comportamiento de las variables dependientes de resistencia y color.

Concluyendo:

En este punto

1. Las resistencias si se correlacionan de manera inversa con el contenido de caliza añadido.
2. El color no muestra correlación con la cantidad de caliza, pero sin embargo por causalidad el color reacciona con el contenido de caliza, ahora es necesario demostrar con pruebas controladas si esto es verídico.

C. De las pruebas de laboratorio para caracterización de Color contra las proporciones de materiales.

De las pruebas realizadas, que fueron 13 mezclas corridas por duplicado y aleatoriamente se concluye:

Se obtuvo el modelo de predicción del comportamiento del Color.

$$\begin{aligned} \text{Color} = & 34.389x(\%Clinker) + 76.19x(\%yeso) + 76.321x(\%caliza) \\ & - 14.7x(\%yeso)x(\%caliza) \\ & + 23.11x(\%yeso)x(\%caliza)x - 10.76x(\%clinker)x(\%yeso) \end{aligned}$$

Haciendo estudios de regresión para Color en base a los materiales, se encuentra que el color efectivamente dependerá de las proporciones de los componentes de la mezcla, la caliza es uno

entre ellos, dado que los valores p para cada componente es menor a 0.05, concluyendo que el efecto de cada uno es significativo para la respuesta de Color.

Adicionalmente, revisando la bondad de ajuste del modelo del diseño, su valor p es mayor a 0.05, esto indica que el modelo es adecuado para predecir Color en base a las proporciones de los tres materiales.

Esto se cumple si, y solo si, los materiales utilizados no sufren ningún cambio físico o químico que afecte su color.

Se concluye que el color si depende de las proporciones de los materiales y su control deberá ser definiendo rangos donde la respuesta resultante este dentro de los límites de control.

D. De las pruebas industriales

Pruebas industriales específicamente planeadas mediante un diseño de mezclas simplex completo, de manera aleatoria y con las toneladas por hora con variable de proceso acorde a un marco real de desempeño fueron corridas.

Pruebas de hipótesis

De los resultados obtenidos se pudieron hacer pruebas de hipótesis para validar:

1. El Color no cambia con la producción.
2. Las resistencias no cambian con la producción

Las conclusiones en ambos casos es que no hay evidencia que sustente el no aceptar la hipótesis nula, dado que los valores p resultantes son mayores a 0.05.

Por lo anterior se prueba que el color no es afectado por cambios de producción de proceso, la resistencia del mortero tampoco se ve afectada por el cambio propuesto de producción, así que, en

concreto, la calidad del producto persiste y solo se ve afectada por la composición de la mezcla de materiales.

Se obtuvieron también modelos de predicción para el color, L y resistencias a 3 días

$$\text{Color} = 31.53x(\%Clinker) + 65.91x(\%yeso) + 67.88x(\%caliza)$$

$$- 0.886x(\%caliza)x(TPH\ Mill)$$

$$L = 67.57x(\%Clinker) + 150.2x(\%yeso) + 81.67x(\%caliza)$$

$$- 142.2x(\%clinker)x(\%yeso) - 0.501x(\%caliza)x(TPH\ Mill)$$

Resistencia a 3 días

$$= 9741x(\%Clinker) + 349444x(\%yeso) - 1532x(\%caliza)$$

$$- 459952x(\%clinker)x(\%yeso) - 380320x(\%yeso)x(\%caliza)$$

$$+ 461x(\%clinker)x(\%caliza)x(TPH)$$

6.13 Matriz de prioridades

Tabla 71. Matriz de prioridad de las acciones de mejora

Pasos	Acciones	Tiempo	Peso(%)	Facilidad de Implementacion	Peso(%)	Obtencion de resultados operativos	Peso(%)	Obtencion de resultados financieros	Peso(%)	Calificacion
1	Pruebas piloto de comprobacion	4	40	4	30	3	15	1	15	3.4
2	Implementacion de controles	3	40	4	30	4	15		15	3.2
3	Seguimiento a ciclos de mejora	3	40	2	30	4	15	3	15	2.6
4	Reforzar el plan de control con produccion	2	40	1	30	3	15	3	15	1.7
5	Dar seguimiento a KPIs del proceso	2	40	3	30	2	15	4	15	2.2

6.14 Gantt – calendario de actividades

Tabla 72. Plan de implementación de mejoras – GANTT

Pasos	Acciones	Sept. 2022				Oct. 2022			
		Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
1	Pruebas piloto de comprobacion								
2	Implementacion de controles								
3	Seguimiento a ciclos de mejora								
4	Reforzar el plan de control con produccion								
5	Dar seguimiento a KPIs del proceso								

6.15 Conclusiones

1. Se comprueba que el Color solamente depende de la composición de materiales presentes en la mezcla.
2. Se comprueba que el Color no es dependiente de la producción en toneladas por hora en el molino.
3. Las resistencias a la compresión no sufren deterioro cuando se reduce la finura Blaine.
4. Aunque no fue parte de este estudio, se demuestra la factibilidad de fabricación de un solo producto que cumpla las características de Morteros N y S de acuerdo con la Norma C91 de ASTM.

CAPITULO 7 – ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS

7 Implementación de mejoras



7.1 Introducción

7.1.1 Planeación de Recursos

1. Plan de revisión y calibración de alimentadores
2. Realización de corridas de producción de Mortero
3. Medición de variables independientes y de respuesta mediante KPIs
4. Toma de acciones de mejora para siguiente corrida

7.1.2 Plan de control (Implementación de controles)

Se ha implementado el cambio en la capacidad productiva para ambos productos (Tipos N y S), de 50 a 65 Toneladas por hora como objetivo de producción, mientras que la finura Blaine como objetivo de calidad, reduciéndolo de 7200 cm²/g a 6200 cm²/g, y publicando un nuevo documento de guías de calidad y producción.

Tabla 73. Guías de Calidad y Producción – Molienda de Cemento.



DATE: 20220909

Cement Production			Type II (See note for % Limestone)				Type III LA		Mas-N		Mas-S	
			FM1	FM2	FM1	FM2	FM1	FM2	FM1	FM2	FM1	FM2
Grinding Aid Type			LGA	LGA	MTDA	MTDA	LGA	LGA	LGA	LGA		
Grinding Aid ratio			0.065	0.065	0.085	0.085	0.045	0.045	0.045	0.045		
Hydrophobe ratio							0.025	0.025	0.025	0.025		
32 micron Pass (PSA)	CONTROL											
Blaine	CONTROL		3900 +/-100	3900 +/-100	5400 +/-100	5400 +/-100	6200 +/-200	6200 +/-200	6200 +/-100	6200 +/-100		
Cement Fineness	MONITOR		95.5 +/-1.5	95.5 +/-1.5	98.5 +/-1.0	98.5 +/-1.0						
C3A	Max				7.2	7.2						
SO3			3.1 +/-0.2	3.1 +/-0.2	3.8 +/-0.2	3.8 +/-0.2	2.2 +/-0.3	2.2 +/-0.3	2.6 +/-0.2	2.6 +/-0.2		
NaEQ			<0.64	<0.64	<0.64	<0.64						
Limestone on CMS			11.00	11.00								
Packset					1.00	1.00						
LOI			6.5 +/- 0.5	6.5 +/- 0.5	2.4 +/- .4	2.4 +/- .4						
Mas Color							47.0 +/-1.0	47.0 +/-1.0	44.0 +/-1.0	44.0 +/-1.0		
% Air Content			7.0 +/-2.0	7.0 +/-2.0	7.0 +/-2.0	7.0 +/-2.0	13.0 +/-2.0	13.0 +/-2.0	11.0 +/-2.0	11.0 +/-2.0		
Free Lime			1.0 +/- 0.5	1.0 +/- 0.5	1.0 +/- 0.5	1.0 +/- 0.5						
Silo Destination			1,2,3,4,6,8	2,4,6,8	5,9,7,10	5,9,7,10	13,14	13,14	12,15	12,15		
Cement discharge temp			203-235				203-235					
Cooler outlet temp			120 - 160				120 - 160					
Clinker supply		Dome 2	Dome 2	Dome 2	Dome 2	Dome 1	Dome 1	Dome 2	Dome 2	Dome 2		
<p>Modifications: Remarks in Red - Blaine target on Masonry products is 6200 cm2/g.</p> <p>TYPE II: % LIMESTONE 11.5% FIXED, LAB CHECKS BY SPLIT LOSS ON DAILY COMPOSITE AND QUALITY MANAGER WILL INSTRUCT ADJUSTMENT FROM THERE.</p>												

7.1.3 FMEA proyectado

Tabla 74. FMEA con acciones proyectadas

		Manufactura de Morteros Tipo N y S			Prepared by: Ricardo Rios		Page 1 of 1									
Responsable:		Ricardo Rios			FMEA Date (Orig)		09/21/22		(E #####)							
Paso del proceso	Modo de falla potencial	Efectos de fallas potenciales	SEV	Causas potenciales	CCC	Controles actuales	DET	RPN	Acciones recomendadas	Resp.	Acciones implementadas	SEV	CCC	DET	RPN	
Alimentacion de materiales a silo	Transferencia de caliza desde M01 a silo equivocado-contaminacion de	Descontrol de SO3	5	Sistemas de comunicacion no efectivas	6	Comunicacion via radio para coordinar la transferencia con operador de traxcavo,	1	30	Mantener controles	Rios	Continuar con controles actuales	5	6	1	30	
	Transferencia de caliza desde M01 a silo equivocado-contaminacion de	Descontrol de LOI y color	5	Sistemas de comunicacion no efectivas	6	Comunicacion via radio para coordinar la transferencia con operador de traxcavo,	1	30	Mantener controles	Rios	Continuar con controles actuales	5	6	1	30	
	Transferencia de yeso desde M01 a silo equivocado-contaminacion con	Descontrol de color y SO3	5	Sistemas de comunicacion no efectivas	6	Comunicacion via radio para coordinar la transferencia con operador de traxcavo,	1	30	Mantener controles	Rios	Continuar con controles actuales	5	6	1	30	
	Transferencia de yeso desde M01 a silo equivocado-contaminacion de	Descontrol de SO3	5	Sistemas de comunicacion no efectivas	6	Comunicacion via radio para coordinar la transferencia con operador de traxcavo,	1	30	Mantener controles	Rios	Continuar con controles actuales	5	6	1	30	
	Transferencia de clinker especial desde M01 a silo equivocado -	Descontrol en LOI y uso de adiccion	5	Sistemas de comunicacion no efectivas	6	Comunicacion via radio para coordinar la transferencia con operador de traxcavo,	1	30	Mantener controles	Rios	Continuar con controles actuales	5	6	1	30	
	Transferencia de clinker especial desde M01 a silo equivocado -	Descontrol en SO3	5	Sistemas de comunicacion no efectivas	6	Comunicacion via radio para coordinar la transferencia con operador de traxcavo,	1	30	Mantener controles	Rios	Continuar con controles actuales	5	6	1	30	
Alimentacion de materiales a molino	Pesado de Caliza	Variacion de calidad - Color , resistencias y tiempos de fraguado	8	Descalibracion de bascula, tension de banda, pesaje impreciso por acumulacion de material. Efectos de material humedo.	7	Medicion de color cada 2 horas y perdida por ignicion cada turno. Resistencias y fraguado por campana.	6	336	Calibracion de basculas por lo menos una vez al mes. Revisiones	Rios	Programacion de calibraciones en Oracle de manera	2	3	6	36	
	Pesado de Yeso	Variacion de calidad - Color , resistencias y tiempos de fraguado	8	Descalibracion de bascula, tension de banda, pesaje impreciso por acumulacion de material. Efectos de material humedo.	7	Medicion de color cada 2 horas y perdida por ignicion cada turno. Resistencias y fraguado por campana.	5	280	Calibracion de basculas por lo menos una vez al mes. Revisiones	Rios	Programacion de calibraciones en Oracle de manera	2	3	5	30	
	Pesado de Clinker	Variacion de calidad - Color , resistencias y tiempos de fraguado	8	Descalibracion de bascula, tension de banda, pesaje impreciso por acumulacion de material.	7	Medicion de color cada 2 horas y perdida por ignicion cada turno. Resistencias y fraguado por campana.	5	280	Calibracion de basculas por lo menos una vez al mes. Revisiones	Rios	Programacion de calibraciones en Oracle de manera	2	3	5	30	
	Pesado de Clinker especial	Variacion de calidad - Color , resistencias y tiempos de fraguado	5	Descalibracion de bascula, tension de banda, pesaje impreciso por acumulacion de material.	7	Medicion de color cada 2 horas y perdida por ignicion cada turno. Resistencias y fraguado por campana.	5	175	Calibracion de basculas por lo menos una vez al mes. Revisiones	Rios	Programacion de calibraciones en Oracle de manera	2	3	5	30	

La acción primordial de control basada en el FMEA es hacer las verificaciones y calibraciones de manera frecuente, en este caso se propone que sea mensual como mínimo, y que la Gerencia de Calidad se encargue de hacer las requisiciones de trabajo al departamento de Mantenimiento.

A continuación, se muestra ejemplo de una requisición de trabajo.

Figura 100. *Requisición de trabajo de mantenimiento*

Work Requests >

View Work Request: 10578066

☆

Asset Number	SA501020	Asset Group	WEIGH FEEDER, WEIGH BELT
Description	WEIGH FEEDER, M24, WEIGH BELT, LIMESTONE, #1 CEMENT GRINDING		

Request Details

Asset Number	SA501020	Assigned Department	EM
Request Number	10578066	Status	Open
Priority	NEXT FINISH MILL SHUTDOWN	Work Request Type	PRODUCTION
Request By Start Date	13-Oct-2022 11:34:51	Request By Completion Date	14-Oct-2022 11:34:51
Requested For	RRIOS	Asset Criticality	POTENTIAL IMPACT

Request Description

Description History *** RRIOS (2022-10-13 10:38:31) ***
 SA501020 WEIGH FEEDER, M24, WEIGH BELT, LIMESTONE, #1 CEMENT GRINDING - CHECK AND CALIBRATE.

Request Attachments

Attachments None

Creation Information

Created By	RRIOS	Notify User	No
Phone Number	210-208-1943	E-mail	rrios@alamocement.com
Contact Preference	E-mail	Date Filed	13-Oct-2022 10:38:31

Descriptive Information

Context Value

[Return to Work Requests](#)

7.1.4 Pruebas piloto

No se hicieron más pruebas piloto, los cambios se hicieron directo a producción y comenzaron en Septiembre 9, 2022.

Se hizo una pequeña prueba para comprobar extensión de las conclusiones del punto D en pruebas industriales, corriendo a 60, 70 y 80 toneladas por hora. Eso sucedió en Agosto 22, 2022.

Tabla 75. Pruebas de comprobación

Fecha	hora	Producto	Produccion	Color	L	a	b	% de Aire	Blaine (cm2/g)	Malla 325 en % pasante	Resistencia a 3 Dias	Resistencia a 7 Dias	Resistencia a 28 Dias
8/22/2022	2:00 PM	Mortero Tipo S	60 toneladas por hora	43.8	69.61	0.04	7.34	13.2	6330	93.8	2720	3190	4270
8/22/2022	4:00 PM	Mortero Tipo S	70 toneladas por hora	43.1	69.33	0.17	7.6	13.6	6070	93	2400	3030	4050
8/22/2022	6:00 PM	Mortero Tipo S	80 toneladas por hora	41.8	68.31	0.18	8.12	13.2	5660	94.1	2880	3490	4510
			Promedio	43	69	0	8	13	6020	94	2667	3237	4277
			Desviacion estandar	1.0	0.7	0.1	0.4	0.2	338	0.6	244	234	230
			Coficiente de variacion	2%	1%	60%	5%	2%	6%	1%	9%	7%	5%

(Tabla 75) Se observó que a la máxima producción se puede obtener un producto de calidad que cumple los requerimientos normativos de resistencia, y el color es casi dentro de límites de control.

Se detectó una limitación a la máxima producción, la banda alimentadora de caliza está limitada en 28 TPH, esto fue comunicado al área de producción para resolverlo dado que está diseñada para 40 TPH.

Se define finalmente que para la etapa de control la producción objetivo sea 65 toneladas por hora.

7.1.5 Ciclos de Mejora PDCA

Seguimiento a ciclos de mejora

Se mantiene un monitoreo continuo de las variables independientes durante cada campana, revisando sus coeficientes de variación y comparándolos con el periodo de 2022 antes de implementación y con corridas previas.

Mortero Tipo S

Línea base – Periodo Enero a septiembre 2022.

Tabla 76. Valores de línea base -Mortero Tipo S

	Blaine (cm ² /g)	Perdida Por ignición (%)	Caliza (%)	Color	L	a	b
Promedio	6968	14.6	31.0	44.5	70.2	0.2	7.7
Desviación estándar	502	1.7	3.3	1.3	2.8	0.2	0.6
Coefficiente de variación	7.2%	11.4%	10.7%	2.9%	4.1%	80.7%	7.5%

Estadísticos

Ciclo 1- Septiembre 11 y 12, 2022

Ciclo 2- Septiembre 21 al 24, 2022

Ciclo 3 – Septiembre 30 y Octubre 1, 2022

Ciclo 4 – Octubre 8 y 9, 2022

Tabla 77. Comparativos de resultados – Ciclos vs Línea base. Mortero Tipo S.

Variable	Periodo	N	Media	Desv.Est.	Coefficiente Variacion
Blaine	Linea Base	529	6967.7	502.0	7.20
	Ciclo 1	15	6291	473	7.53
	Ciclo 2	21	6141.9	199.6	3.25
	Ciclo 3	9	5924.4	188.8	3.19
	Ciclo 4	13	6180.8	164.7	2.66
Color	Linea Base	524	44.486	1.292	2.90
	Ciclo 1	15	44.773	1.771	3.95
	Ciclo 2	22	45.432	1.201	2.64
	Ciclo 3	9	43.467	1.291	2.97
	Ciclo 4	13	44.285	0.796	1.80
L	Linea Base	529	70.199	2.846	4.05
	Ciclo 1	15	70.809	1.392	1.97
	Ciclo 2	22	71.573	1.476	2.06
	Ciclo 3	9	71.768	0.991	1.38
	Ciclo 4	13	71.953	1.194	1.66

Mortero Tipo N

Línea base – Periodo Enero a Septiembre 2022.

Tabla 78. Valores de línea base -Mortero Tipo N

	Blaine (cm ² /g)	Perdida Por ignición (%)	Caliza (%)	Color	L	a	b
Promedio	7224.3	17.7	38.0	46.9	72.1	0.2	7.1
Desviación estándar	633.7	1.6	4.2	1.7	1.4	0.2	0.4
Coficiente de variación	8.8%	9.0%	11.0%	3.6%	2.0%	68.4%	5.9%

Tabla 79. Comparativos de resultados – Ciclos vs Línea base. Mortero Tipo N.

Variable	Periodo	N	Media	Desv. Est.	Coficiente de Variacion
Blaine	Línea base	206	7257.7	390.8	5.4
	Ciclo 1	10	6423.0	215.5	3.4
	Ciclo 2	6	6666.7	155.1	2.3
	Ciclo 3	5	6414.0	176.2	2.7
	Ciclo 4	4	6522.5	365.5	5.6
Color	Línea base	206	46.9	1.7	3.6
	Ciclo 1	10	48.2	1.0	2.0
	Ciclo 2	6	47.8	0.9	1.9
	Ciclo 3	5	47.6	0.3	0.6
	Ciclo 4	4	44.8	2.9	6.5
L	Línea base	206	72.1	1.4	2.0
	Ciclo 1	10	73.3	0.6	0.8
	Ciclo 2	6	74.7	0.5	0.6
	Ciclo 3	5	74.5	0.4	0.5
	Ciclo 4	4	72.4	2.5	3.4

7.1.6 Evaluación de resultados

Primeramente, el énfasis en la mejora fue mediante el seguimiento continuo con el personal de producción para darles confianza en obtener resultados positivos dado el entendimiento de las relaciones causa efecto sobre el color y las resistencias.

La variación se ha visto disminuida en ambos productos a como las campanas progresan, el único caso fue en la cuarta campana del Mortero Tipo N donde esta aumentó debido a valores bajos y a una corta campaña (Tablas 77 y 79).

7.2 Cálculo de Nivel Sigma después de Mejora

7.2.1 Mortero Tipo S – Color – Comparación de la capacidad Antes/Después

Figura 101. Comparación Capacidad de proceso – Antes/Después – Color – Mortero Tipo S

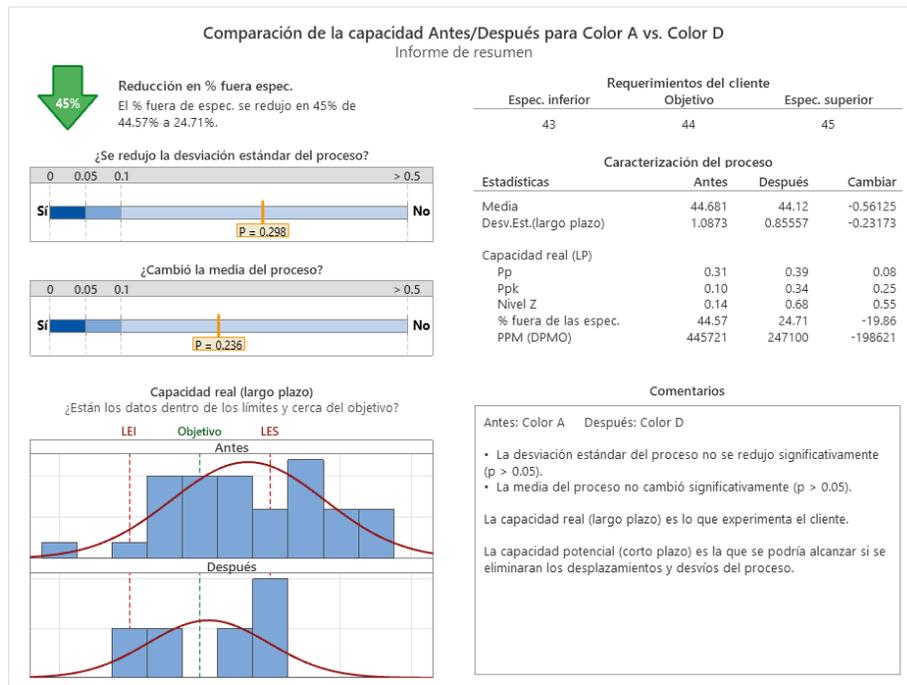


Figura 102. Comparación Antes/Después – Color – Mortero Tipo S – I-MR

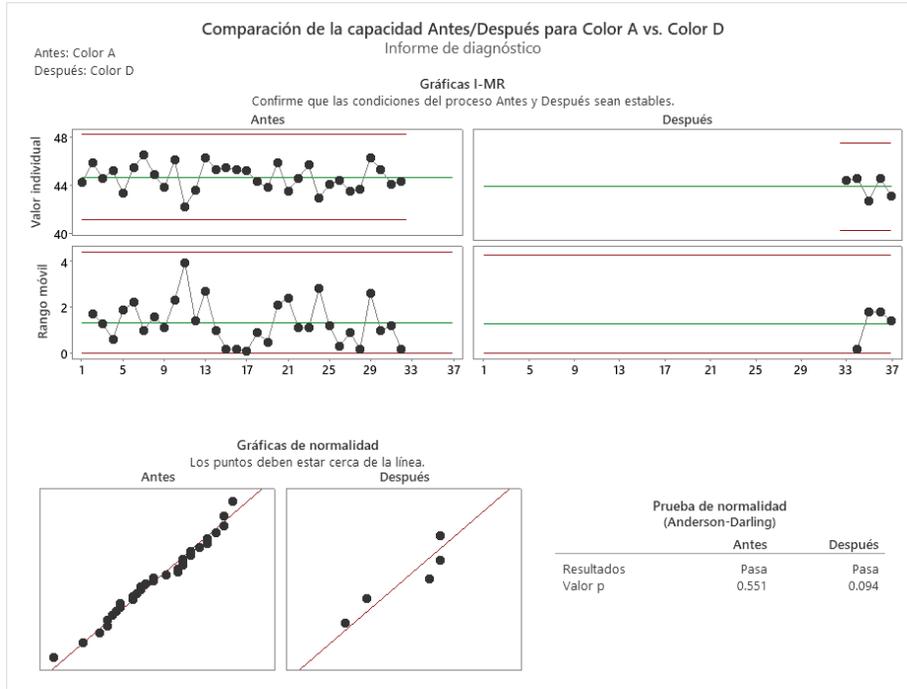
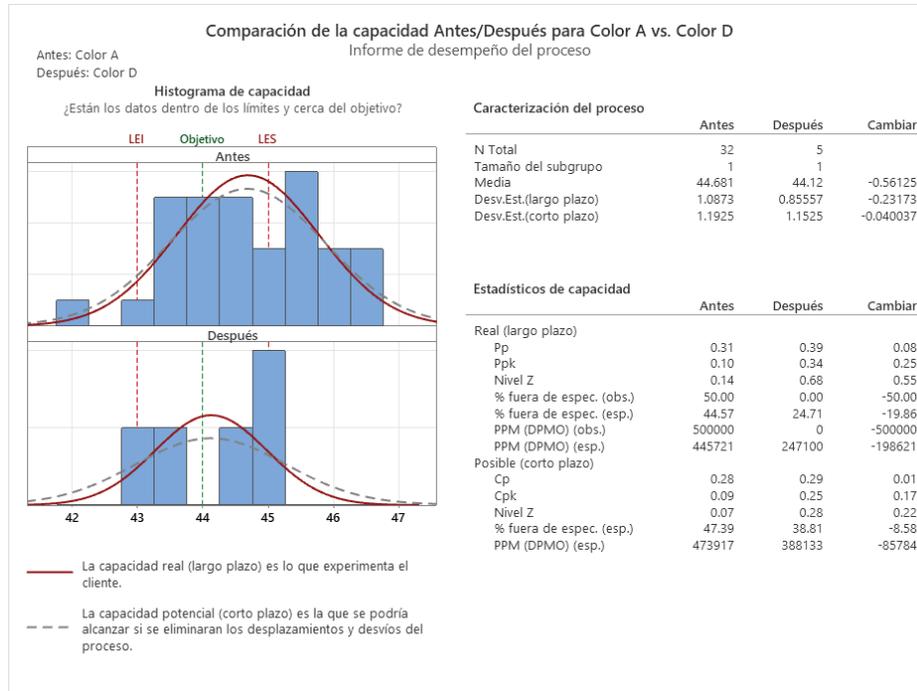


Figura 103. Comparación Antes/Después – Color – Mortero Tipo S – Desempeño del proceso



Cálculo de Valores Z y Nivel Sigma

$$Z_{LIE} = \frac{x_m - LIE}{s} = \frac{44.12 - 43}{0.86} = 1.3026$$

Y

$$Z_{LSE} = \frac{LSE - x_m}{s} = \frac{45 - 44.12}{0.86} = 1.02$$

Y las probabilidades

$$P(Z_I > Z_{LIE}) = P(Z_I > 1.3026) = 0.0968 = 9.68\%$$

$$P(Z_U > Z_{LSE}) = P(Z_U > 1.02) = 0.1539 = 15.39\%$$

$$P_{\text{total}} = 0.0968 + 0.1539 = 0.2507 \gg \gg \gg \gg Z = \text{Nivel Sigma} = 0.67$$

$$\text{Nivel Sigma es} = 0.67 + \text{shift} = 0.67 + 1.5 = 2.17$$

Resultados muestran que el Nivel sigma es 0.67 a corto plazo y 2.17 a largo plazo, la probabilidad que el color este fuera de especificación es 25.07% por lo que el *First Pass Yield* es 74.93%, una mejora del 15%.

7.2.2 Mortero Tipo S - Resistencia a 3 Días – Capacidad Antes/Después

Figura 104. Comparación Capacidad de proceso – Antes/Después – Resistencia a 3 días – Mortero Tipo S

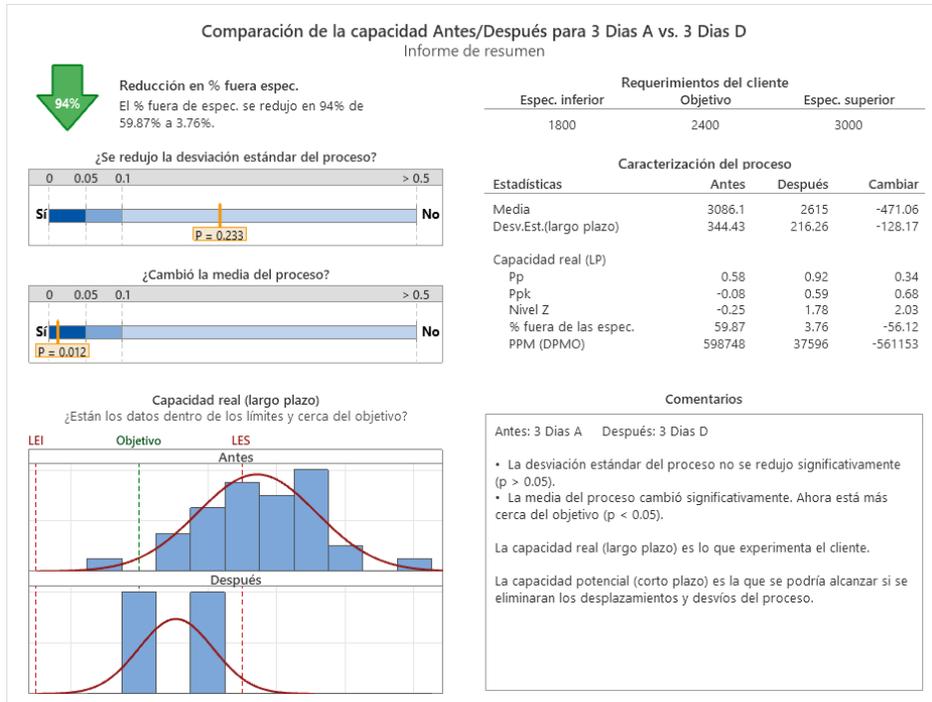


Figura 105. Comparación Antes/Después – Resistencia a 3 días – Mortero Tipo S – I-MR

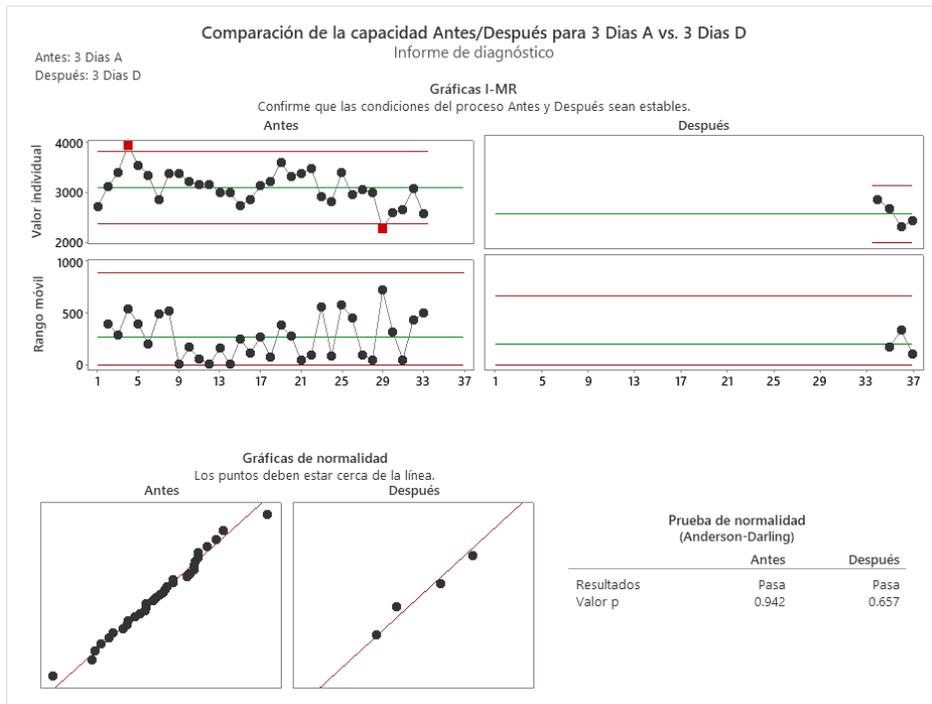
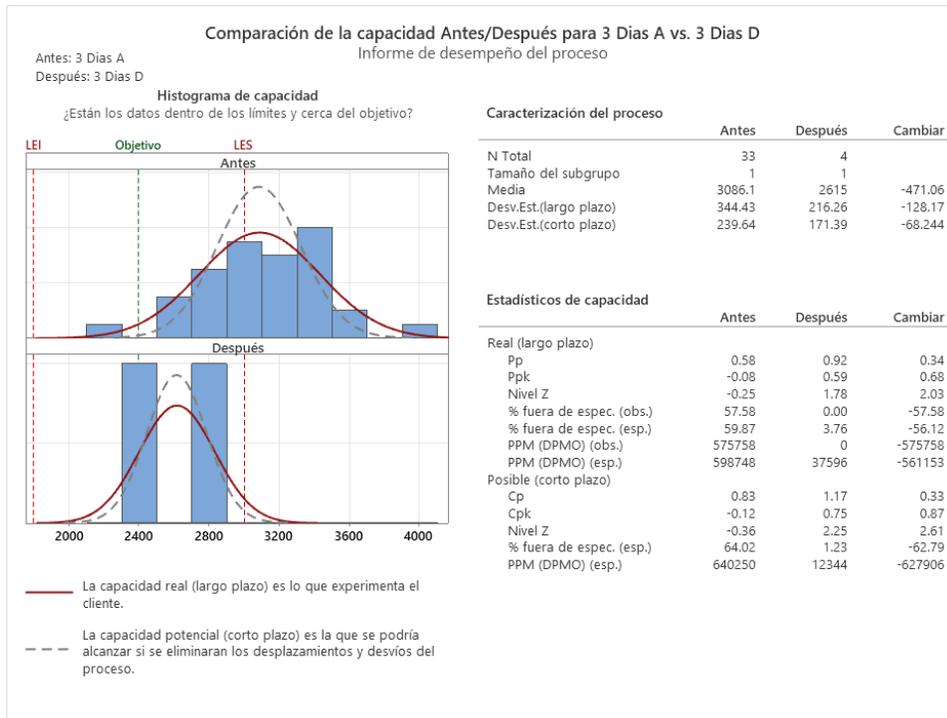


Figura 106. Comparación Antes/Después – Resistencia 3 días – Mortero Tipo S – Desempeño del proceso



Nota: Los datos después de cambio están dentro de rango, no hay fuera de especificación.

Cálculo de Valores Z y Nivel Sigma

$$Z_{LIE} = \frac{Xm - LIE}{s} = \frac{2615 - 1800}{216.26} = 3.768$$

$$Z_{LSE} = \frac{LSE - Xm}{s} = \frac{3000 - 2615}{216.26} = 1.78$$

Y las probabilidades

$$P(Z_I > Z_{LIE}) = P(Z_I > 3.768) = 0.00008 = 0.008\%$$

$$P(Z_U > Z_{LSE}) = P(Z_U > 1.78) = 0.0375 = 3.75\%$$

$$P_{total} = 0.00008 + 0.0375 = 0.03758 \gggggg Z = \text{Nivel Sigma} = 1.78$$

$$\text{Nivel Sigma es} = 1.78 + \text{shift} = 1.78 + 1.5 = 3.28$$

Concluyendo que el Nivel sigma es 1.78 a corto plazo y 3.28 a largo plazo, la probabilidad que la resistencia a 3 días este fuera de especificación es 3.76% por lo que el *First Pass Yield* es 96.24%.

7.2.3 Mortero Tipo N – Color – Comparación de la capacidad Antes/Después

Figura 107. Comparación Capacidad de proceso – Antes/Después – Color – Mortero Tipo N

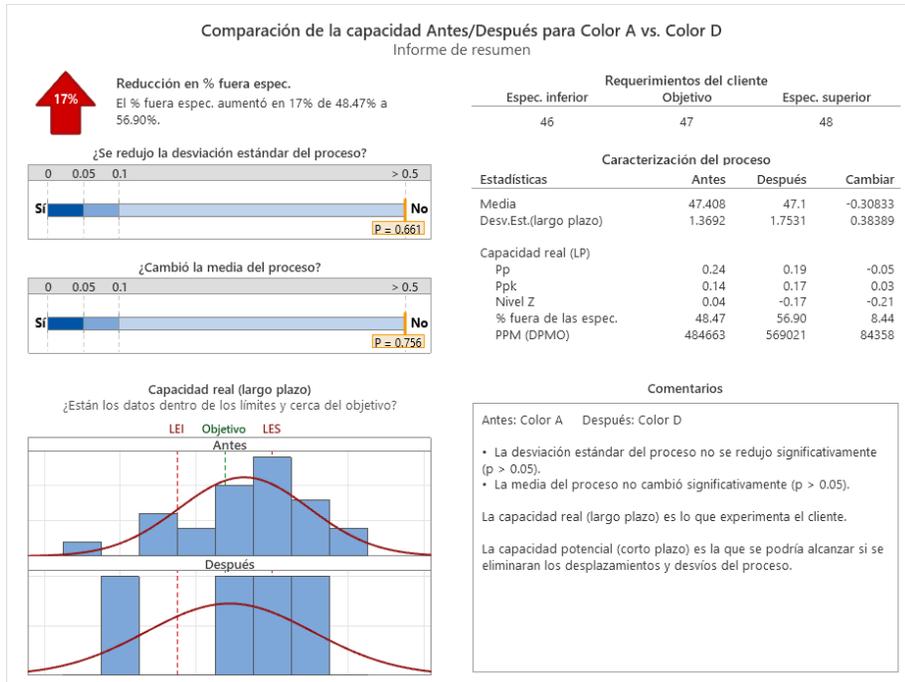


Figura 108. Comparación Antes/Después – Color – Mortero Tipo N – I-MR

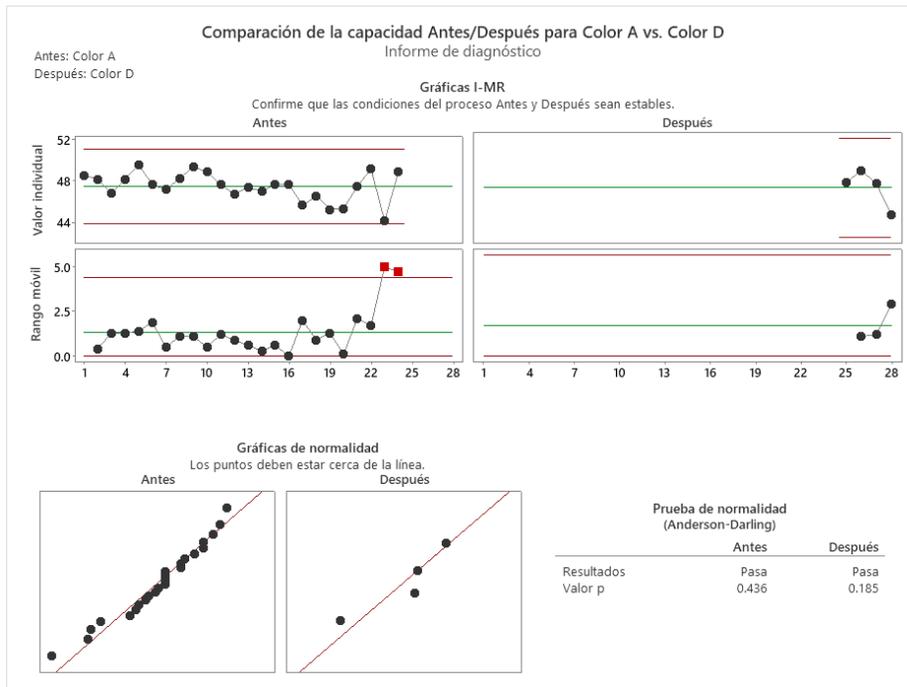
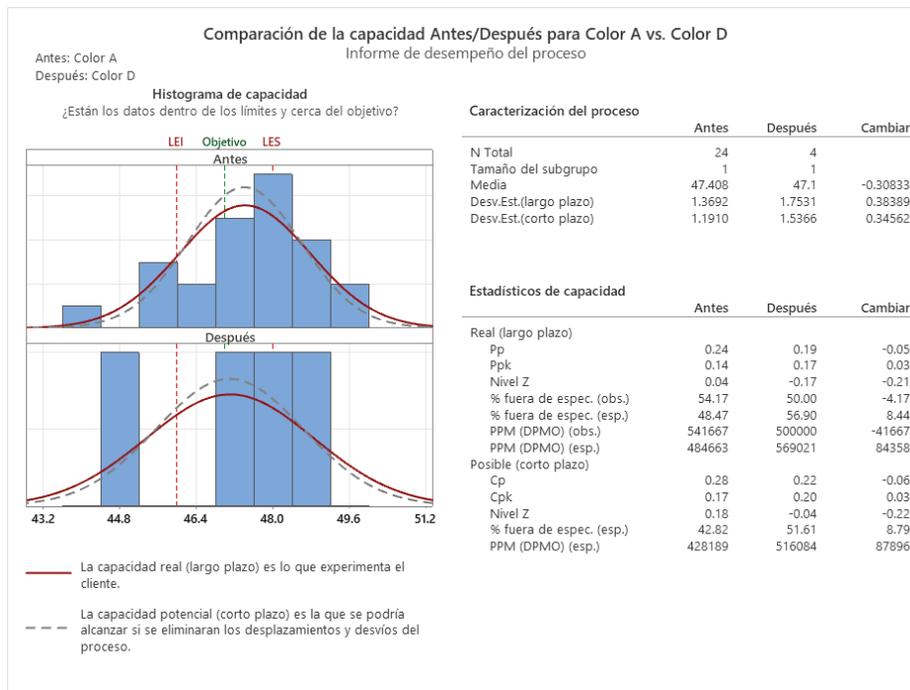


Figura 109. Comparación Antes/Después – Color – Mortero Tipo N – Desempeño del proceso



Cálculo de Valores Z y Nivel Sigma

$$Z_{LIE} = \frac{x_m - LIE}{s} = \frac{47.1 - 46}{1.7531} = 0.6275$$

$$Z_{LSE} = \frac{LSE - x_m}{s} = \frac{48 - 47.1}{1.7531} = 0.5419$$

Y las probabilidades

$$P(Z_I > Z_{LIE}) = P(Z_I > 0.6275) = 0.2643 = 26.43\%$$

$$P(Z_U > Z_{LSE}) = P(Z_U > 0.5419) = 0.2946 = 29.46\%$$

$$P_{total} = 0.2643 + 0.2946 = 0.5589 \gggggg Z = \text{Nivel Sigma} = 0.15$$

$$\text{Nivel Sigma es} = 0.15 + \text{shift} = 0.15 + 1.5 = 1.65$$

El Nivel sigma es 0.15 a corto plazo y 1.65 a largo plazo, la probabilidad que el color este fuera de especificación es 55.89% por lo que el *First Pass Yield* es 44.11%.

7.2.4 Mortero Tipo N – Resistencias a 3 Días – Capacidad Antes/Después

Figura 110. Comparación Capacidad de proceso – Antes/Después – Resistencia a 3 días – Mortero Tipo N

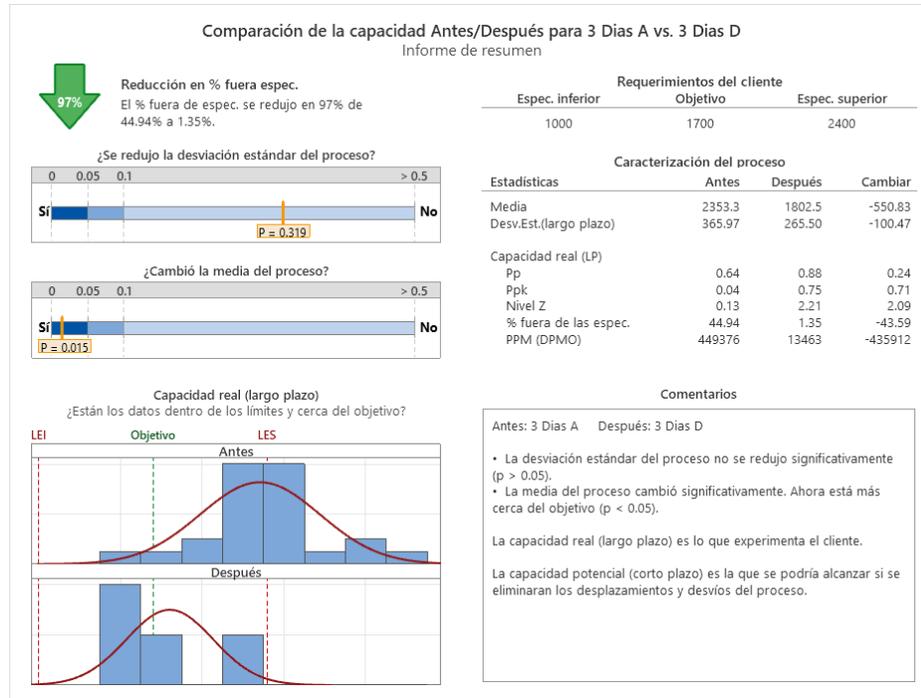


Figura 111. Comparación Antes/Después – Resistencia a 3 días – Mortero Tipo N – I-MR

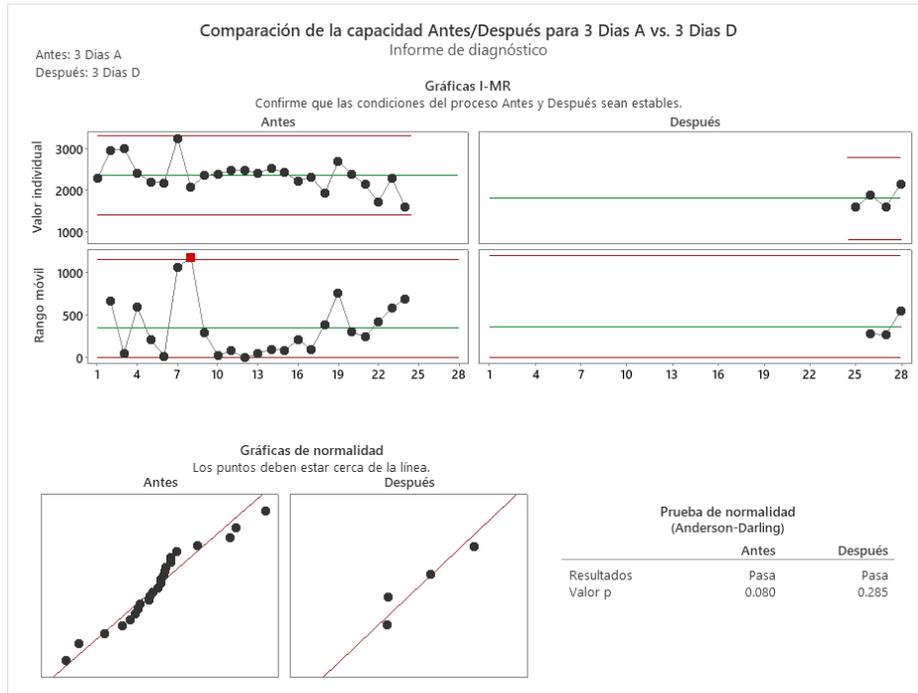
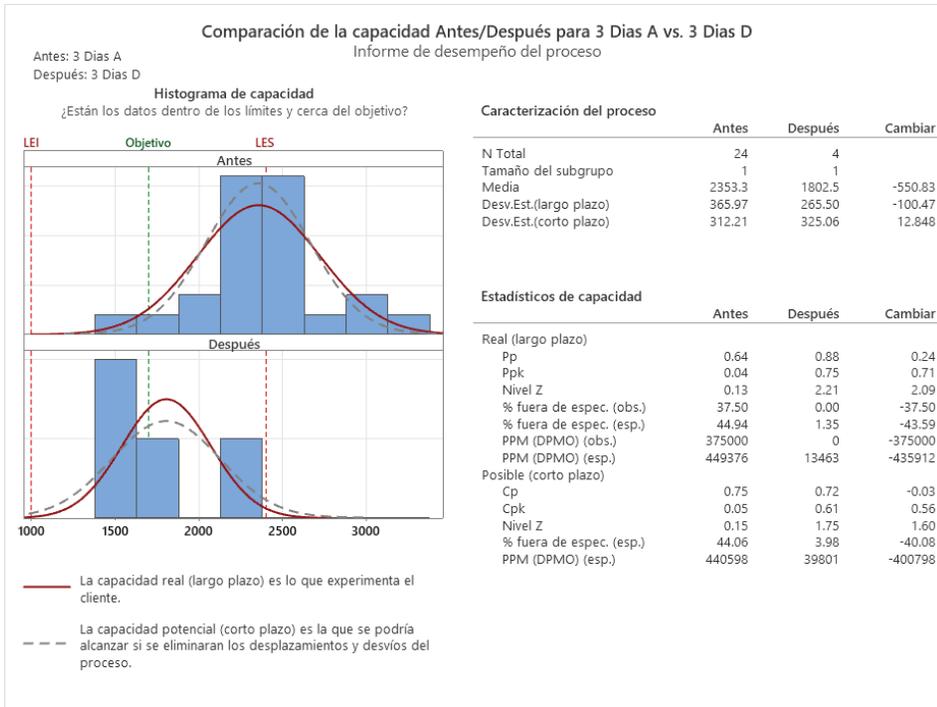


Figura 112. Comparación Antes/Después – Resistencia 3 días – Mortero Tipo N – Desempeño del proceso



Cálculo de Valores Z y Nivel Sigma

$$Z_{LIE} = \frac{x_m - LIE}{s} = \frac{1802.5 - 1000}{265.5} = 3.0226$$

$$Z_{LSE} = \frac{LSE - x_m}{s} = \frac{2400 - 1802.5}{265.5} = 2.2504$$

Y las probabilidades

$$P(Z_l > Z_{LIE}) = P(Z_l > 3.0226) = 0.0012 = 0.12\%$$

$$P(Z_u > Z_{LSE}) = P(Z_u > 2.2504) = 0.0122 = 1.22\%$$

$$P_{\text{total}} = 0.0012 + 0.0122 = 0.0134 \gggggg \gg Z = \text{Nivel Sigma} = 2.215$$

$$\text{Nivel Sigma es} = 2.215 + \text{shift} = 2.215 + 1.5 = 3.715$$

El Nivel sigma después de implementación es 2.215 a corto plazo y 3.715 a largo plazo, la probabilidad que la resistencia a 3 días este fuera de especificación es 1.34% por lo que el *First Pass Yield* es 98.66%.

7.2.5 Resumen de resultados – Nivel Sigma

Tabla 80. Nivel Sigma Antes y Después

Producto	Variable	Nivel Sigma Antes	Nivel Sigma Después	Mejora
Mortero Tipo S	Color	1.76	2.17	SI - % fuera de especificación se redujo de 44.57 a 24.71%
Mortero Tipo N	Color	1.69	1.65	No – Aumento – 48.57 a 56.90%- corridas muy cortas y valores de color fuera de rango.
Mortero Tipo S	Resistencia a 3 Días	1.10	3.28	SI -% fuera de especificación se redujo de 59.87 a 3.76%
Mortero Tipo N	Resistencia a 3 Días	1.70	3.715	SI -% fuera de especificación se redujo de 44.94 a 1.35%

7.2.6 Conclusiones

1. Se ha mejorado la incidencia fuera de especificación de Color en un 45% para el Mortero Tipo S
2. La ocurrencia de datos fuera de especificación en las Resistencias se ha reducido entre 94 y 97%, obteniendo producto más consistente en esta característica de calidad.
3. La variación de Color en el Mortero N aumento dado que en la última corrida se obtuvieron 2 valores bajos de color, y han sido pocos los datos obtenidos en cortas corridas.
4. La variación ha mejorado, pero no significativamente.
5. Los niveles Sigma de la Resistencia han mejorado dramáticamente.

CAPITULO 8 – ETAPA DE CONTROL

8 Plan de Control

Un plan de control es útil para definir los procesos, los sistemas de medición, los parámetros a medir, su frecuencia y los responsables de análisis y control de las variables as como los registros de calidad aplicables, todo esto para dar soporte al logro de los objetivos de calidad.

Básicamente para los productos Mortero se mantiene el mismo plan de control de proceso y calidad, pero ahora se definen los valores objetivo y límites para las variables de control siendo:

Tabla 81. Variables con targets y límites de operación

Material/ Intermediate product/ Product	Stage of Control	Variable	Minimum	Target	Maximum	Specifications	Frequency
Masonry Cement Type N	Monitoring and measurement	SO ₃	1.9	2.2	2.5		Every 4 hours
		% Loss on ignition	18	19	20		Every 4 hours
		Air content	11	13	15	8 min/21 max	Every 4 hours
		Color	46.0	47.0	48.0		Every 4 hours
		Blaine	6000	6200	6400		Every 4 hours
	Physical tests	325mesh passing	94	95.5	97		Every 4 hours
		Air content	11	13	15	8 min/21 max	In every composite
		Blaine	6000	6200	6400		In every composite
		Autoclave expansion	-0.20	0.00	0.20	1 max	In every composite
		Compressive strength					In every composite
		3 day	1000	1700	2400		In every composite
		7 days	1400	2100	2800		In every composite
		28 days initial time or setting, GILMORE	1900	2500	3100		In every composite
		False set %	150	165	180		In every composite
Pack set	55	65			In every composite		
Masonry Cement Type S	Monitoring and measurement	Water retention	90	85	80	70% min	In every composite
		SO ₃	2.4	2.7	3		Every 4 hours
		% Loss on ignition	14	15	16		Every 4 hours
		Air content	11	12	13	8 min/19 max	Every 4 hours
		Color	43.0	44.0	45.0		Every 4 hours
	Physical tests	Blaine	6000	6200	6400		Every 4 hours
		325mesh passing	94	95.5	97		Every 4 hours
		Air content	9	11	13	8 min/19 max	In every composite
		Blaine	6000	6200	6400		In every composite
		Autoclave expansion	-0.20	0.00	0.20	1 max	In every composite
		Compressive strength					In every composite
		3 day	1800	2400	3000		In every composite
		7 days	2400	2900	3400		In every composite
		28 days initial time or setting, GILMORE	2900	3500	4100		In every composite
False set %	150	165	180		In every composite		
Pack set	55	65			In every composite		
Water retention	0	1	2		In every composite		
						In every composite	

8.1 Plan de Control

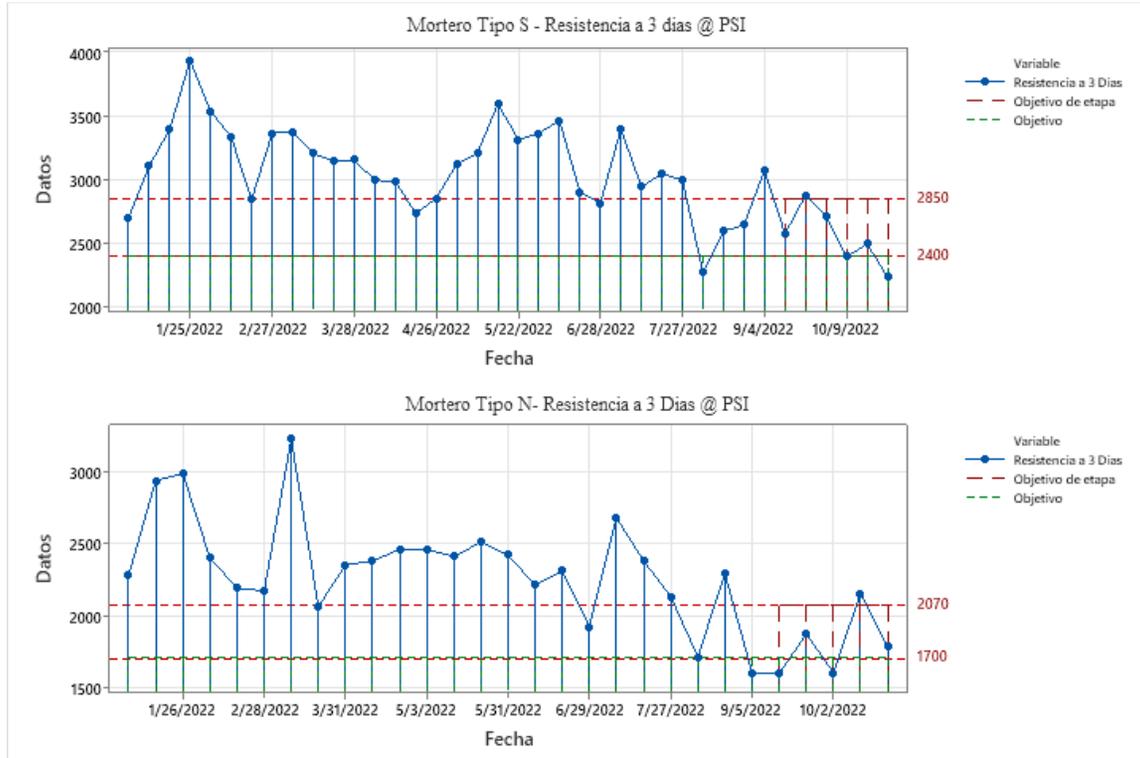
Tabla 82. Plan de Control de Calidad para Cementos Mortero

Process	Sub process	Material/ Intermediate product/ Product	Stage of Control	Variable	Type of Variable	Unit of Measure	Control limits			Specifications	Frequency	Analytical Instrument	Responsibility for Measurement	Quality Records	Responsible of control					
							Minimum	Target	Maximum											
Cement production	Cement grinding	Masonry Cement	Monitoring and measurement	SO3	Control	%	1.9	2.2	2.5		Every 4 hours	LECO SO3	Lab technician	CMS	Control Room supervisor					
				Type N	% Loss on ignition	Critical	%	18	19	20		Every 4 hours	Balance	Lab technician	CMS	Control Room supervisor				
					Air content	Critical	%	11	13	15	8 min/21 max	Every 4 hours	Balance	Lab technician	CMS	Control Room supervisor				
					Color	Critical	%	46.0	47.0	48.0		Every 4 hours	Reflectance meter	Lab technician	CMS	Control Room supervisor				
					Blaine	Critical	cm2/gr	6000	6200	6400		Every 4 hours	Blainmeter	Lab technician	CMS	Control Room supervisor				
					325mesh passing	Control	% passing	94	95.5	97		Every 4 hours	Balance	Lab technician	CMS	Control Room supervisor				
					Physical tests	Air content	Critical	%	11	13	15	8 min/21 max	In every composite	Balance	Physical tester	CMS	Quality manager/supervisor			
						Blaine	Control	cm2/gr	3700	3800	3900		In every composite	Blainmeter	Physical tester	CMS	Quality manager/supervisor			
						Autoclave expansion	Critical	%	-0.20	0.00	0.20	1 max	In every composite	Length comparator Compression machine	Physical tester	CMS	Quality manager/supervisor			
						Compressive strength	Critical	PSI				In every composite	Physical tester		CMS	Quality manager/supervisor				
						3 day		PSI	1000	1700	2400		In every composite		Physical tester	CMS	Quality manager/supervisor			
						7 days		PSI	1400	2100	2800		In every composite		Physical tester	CMS	Quality manager/supervisor			
						28 days		PSI	1900	2500	3100		In every composite		Physical tester	CMS	Quality manager/supervisor			
						Initial Time of setting, GILMORE	Critical	minutes	150	165	180		In every composite	Gilmore apparatus	Physical tester	CMS	Quality manager/supervisor			
						False set %	Critical	%	55	65			In every composite	Vicat apparatus	Physical tester	CMS	Quality manager/supervisor			
						Pack set	Control	revs	0	1	2		In every composite	Pack set apparatus Flow table and caliper	Physical tester	CMS	Quality manager/supervisor			
						Water retention	Control	%	90	85	80	70% min	In every composite		Physical tester	CMS	Quality manager/supervisor			
				Cement production	Cement grinding	Masonry Cement	Monitoring and measurement	SO3	Control	%	2.4	2.7	3		Every 4 hours	LECO SO3	Lab technician	CMS	Control Room supervisor	
								Type S	% Loss on ignition	Critical	%	14	15	16		Every 4 hours	Balance	Lab technician	CMS	Control Room supervisor
									Air content	Critical	%	11	12	13	8 min/19 max	Every 4 hours	Balance	Lab technician	CMS	Control Room supervisor
	Color	Critical	%					43.0	44.0	45.0		Every 4 hours	Reflectance meter	Lab technician	CMS	Control Room supervisor				
	Blaine	Critical	cm2/gr					6000	6200	6400		Every 4 hours	Blainmeter	Lab technician	CMS	Control Room supervisor				
	325mesh passing	Control	% passing					94	95.5	97		Every 4 hours	Balance	Lab technician	CMS	Control Room supervisor				
	Physical tests	Air content	Critical					%	9	11	13	8 min/19 max	In every composite	Balance	Physical tester	CMS	Quality manager/supervisor			
		Blaine	Control					cm2/gr	3700	3800	3900		In every composite	Blainmeter	Physical tester	CMS	Quality manager/supervisor			
		Autoclave expansion	Critical					%	-0.20	0.00	0.20	1 max	In every composite	Length comparator Compression machine	Physical tester	CMS	Quality manager/supervisor			
		Compressive strength	Critical					PSI				In every composite	Physical tester		CMS	Quality manager/supervisor				
		3 day						PSI	1800	2400	3000		In every composite		Physical tester	CMS	Quality manager/supervisor			
		7 days						PSI	2400	2900	3400		In every composite		Physical tester	CMS	Quality manager/supervisor			
		28 days						PSI	2900	3500	4100		In every composite		Physical tester	CMS	Quality manager/supervisor			
		Initial Time of setting, GILMORE	Critical					minutes	150	165	180		In every composite	Gilmore apparatus	Physical tester	CMS	Quality manager/supervisor			
		False set %	Critical					%	55	65			In every composite	Vicat apparatus	Physical tester	CMS	Quality manager/supervisor			
		Pack set	Control					revs	0	1	2		In every composite	Pack set apparatus Flow table and caliper	Physical tester	CMS	Quality manager/supervisor			
		Water retention	Control					%	90	85	80	70% min	In every composite		Physical tester	CMS	Quality manager/supervisor			

8.2 Monitoreo de Indicadores clave de desempeño (KPI)

8.2.1 Resistencias a 3 Días

Figura 113. Resistencia a 3 días - Morteros S y N - Desempeño

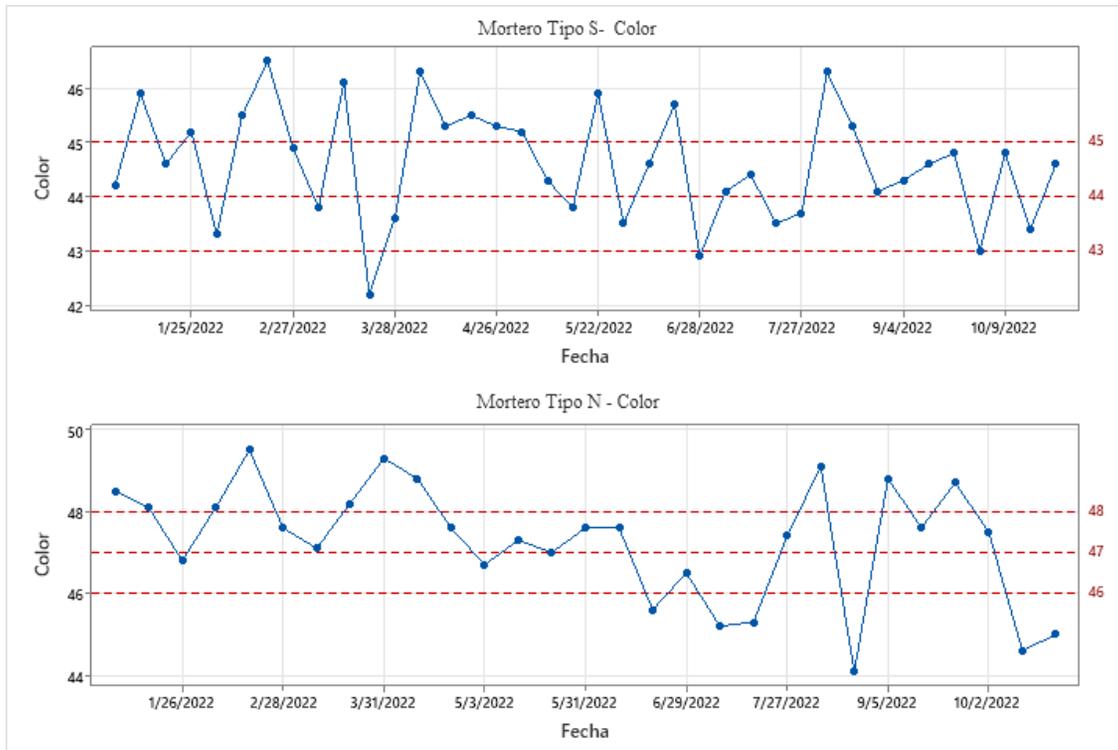


Nota:

En cuanto a la Resistencia a 3 días, se ha observado la reducción esperada dado el cambio en finura Blaine implementado, desde inicios de septiembre se observa más consistencia en el desempeño del mortero (Fig. 113).

8.2.2 Color

Figura 114. Color - Morteros S y N - Desempeño

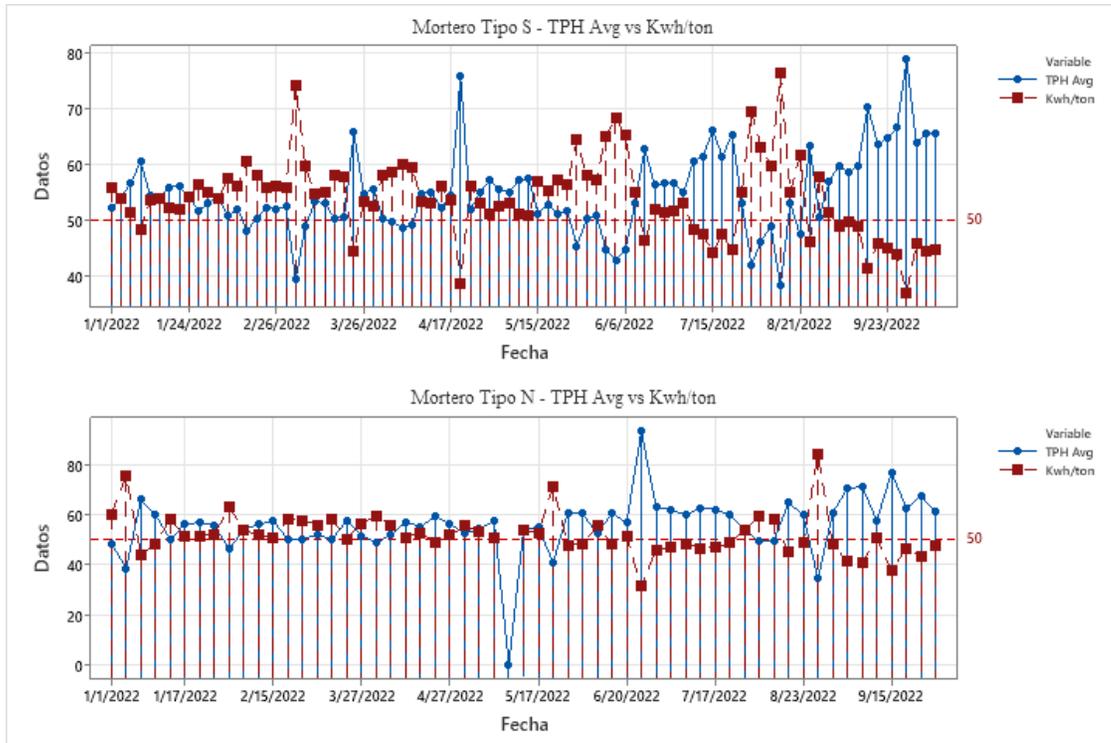


Notas:

El desempeño en resistencia del Mortero Tipo S se encuentra muy bien controlado, sin embargo, existe una oportunidad de mejorar para el Mortero Tipo N, lo peculiar es en cierto punto en el tiempo no existen diferencias de color entre ellos (Fig. 114).

8.2.3 Producción y consumo energético

Figura 115. Producción y Consumo energético - Desempeño



En cuanto al desempeño de estos indicadores operativos, se ha logrado el comportamiento esperado en los Kilowatts hora/ton dado el aumento consistente de producción, los siguientes pasos van en dirección de aumento gradual sin perder de vista la calidad de los productos (Fig. 115).

8.2.4 Beneficio económico estimado

A continuación, se muestra un estimado anual de ahorro financiero basado en el aumento de producción, la reducción en consumo energético y la oportunidad de producir más volumen de Tipo II.

Tabla 83. Ahorros anualizados a valor presente

Estimación de Ahorros

Ahorro anualizado de energía eléctrica

Línea base		55	Kwh/ton
Actual		45.47	Kwh/ton
Ahorro		9.53	Kwh/ton
Producción anual		110000	toneladas
Precio del Kwh	\$	0.08	Dólares
Ahorro	\$	83,864.00	Dólares

Ahorros por sustitución

Antes		Ahora		
Volumen anual	110000	Volumen anual	110000	
TPH	53	TPH	64	Reducción de horas
Horas para producir volumen anual	2075.5	Horas para producir volumen anual	1718.8	356.7

Sustitución por Tipo IL

Horas adicionales	356.7
Producción Tipo IL por hora (TPH)	102
Toneladas a producir	36385.6
Kwh/ton Tipo IL	28.4
Kwh/ton Mortero (Base)	55.0
Diferencia	26.6
Kwh	968684.9057
Ahorro en dólares	\$ 77,494.79

Total
\$ **161,358.79** Dólares

Se destaca que aparte de estos ahorros, se prevé un potencial margen de ganancia debido al volumen adicional de Tipo IL a vender.

8.3 Reconocimiento

Los logros se comunicaron a la alta gerencia durante la reunión anual de presupuesto en Octubre 14, y se recibió una felicitación por el esfuerzo y los resultados.

Accomplishments

- 4 Years in a row with zero MSHA citations for housekeeping (09/25/2018).
- Reliability across the board is greater than 97%
- Completed a 2nd 16 month campaign on Feb 2022.
- Completed 3rd year in a row with savings over \$500K for Power curtailment.
- Projected savings of ~\$500K by replacing 50% of washed limestone.
- Improved Kiln production by reducing temperature at Pre-heather exit utilizing water injection.
- Improved Production rates and KW/ton on Masonry production by optimizing Blaine/Color.

8.4 Conclusiones

Los controles implementados están siendo revisados en cada campaña para ver si requieren más énfasis, por el momento se observa que la gente ya ha adoptado los objetivos y el proceso va por buen camino.

Los siguientes pasos se enfocarán a optimizar la calidad de los productos, a minimizar la variación y lograr más consistencia.

CAPITULO 9 – DISCUSSION
FINAL

9 Discusión final

9.1 Consecuencias de la aplicación de la estrategia

El desarrollo de este proyecto comenzó hace aproximadamente 4 meses y es parte de una propuesta de mejora continua enfocada en lograr mejorar los indicadores de desempeño de los cementos Morteros, para ello considere adecuado el aplicar la metodología DMAIC dado que no se sabían las soluciones de antemano y no se conocían las relaciones entre el Color, la resistencia y las variables que los afectan.

Se parte con la definición del problema en donde se han establecido interrelaciones entre la Voz del Cliente y la Voz del Proceso mediante el uso de varias herramientas de calidad y estrategia, se pudieron definir las variables críticas para la calidad y al final de esta etapa se obtuvo claramente una descripción del problema a resolver, sus implicaciones técnicas y estratégicas y así también la programación de las actividades para las próximas etapas del DMAIC.

Durante la etapa de Medición, se encontraron ciertas áreas de oportunidad en los sistemas que utilizamos para controlar el proceso, afortunadamente se evaluó también que los sistemas, aunque no perfectos, aún pueden ser utilizados con confianza para el control; también se colectó suficiente información histórica de la calidad de los cementos Mortero para caracterizar que tanta variación hay en el desempeño de los producto, llegando a calcular los Niveles Sigma que sirven como línea base para la posterior mejora.

En la parte de Análisis, se logró definir la relación de las variables de Color y Resistencia con las mezclas de materiales, Clinker, yeso y caliza, la producción del molino, así como sus interacciones, se establecieron las prioridades para la mejora y los tiempos.

Luego se procedió a implementar las mejoras propuestas en la cual prácticamente se dirigió el esfuerzo al entendimiento de los cambios y que hay que dejar que le proceso de los resultados planeados, logrado una positiva respuesta con la mayoría del personal, aún hay un poco de resistencia a cambiar, pero se espera pronto erradicar y así lograr convencimiento completo.

Por último, la etapa de Control, donde se ha formalizado la documentación, objetivos y límites que se sigue para el correcto funcionamiento del proceso.

Lo que salió muy bien fue que con la ayuda del asesor me di una idea más clara de hacia donde debía dirigir mis esfuerzos y lograr rápidos y buenos avances en el corto plazo, de hecho, pude adecuar el desarrollo de actividades para que pudiese terminar en tiempo para la próxima etapa.

Lo que encontré como reto fue el poder tener periodos de tiempo largos para enfocar energías a la documentación de este proyecto, y que el producto de la documentación explicara correctamente mis ideas, pero también con la ayuda de mi asesor pude seguir enfocándome a lograr el objetivo, y hay que prepararse para invertir tiempo y esfuerzo.

9.2 Aspectos de mejora para Intervenciones subsecuentes.

Los puntos para mejorar y así poder adoptar Six Sigma y DMAIC son:

1. Definir métricas y objetivos de calidad para todas las áreas – Se tiene definido que el área de producción, mantenimiento y calidad formalmente tienen objetivos de desempeño específicos, y la calidad se maneja aparte.
2. No existe entrenamiento en Calidad, esto se aprende poco a poco.
3. Mejora del proceso de acciones preventivas y correctivas, actualmente se hace poco por analizar problemas, solamente se hace en fallas de mantenimiento y paros de equipos.

En si la cultura actual de calidad se ha orientado a hacer control mas no aseguramiento, tratando con problemas mas no enfatizando en la completa prevención de estos, y se recomienda primero que la alta gerencia apoye y se comprometa a priorizar los indicadores de la calidad sobre los demás.

BIBLIOGRAFIA

1. Breakthrough Management Group with Neil DeCarlo, "The complete idiot's guide to Lean Six Sigma", Alpha, member of Penguin Group, 375 Hudson Street, New York, New York 10014, USA, 2007.
2. John A. Cornell, "How to Run Mixture Experiments for Product Quality", American Society for Quality Control, 310 West Wisconsin Avenue, Milwaukee, Wisconsin 53203, 1990.
3. Roderick A. Munro, Govindarajan Ramu, Daniel J. Zrymiak, "The Six Certified Six Sigma Green Belt Handbook", Second Edition, ASQ Quality Press.
4. T.M. Kubiak, Donald W. Benbow, "The Six Certified Six Sigma Black Belt Handbook", Second Edition, ASQ Quality Press.
5. AH Basson & TW von Backström, "Guide for writing technical reports", Third edition, 2007, Stellenbosch University.
6. Greg Brue, "Six Sigma for Managers", Mc Graw -Hill Companies.
7. James L. Bossert, "Quality Function Deployment: a practitioner approach", 1991, ASQC Quality Press.
8. Thomas Pizdek and Paul Keller, "The Six Sigma Handbook", Third edition, 2010.
9. Alfredo Elizondo Decanini, "Manual de Aseguramiento Metrológico Industrial", Primera edición, 1996, Ediciones Castillo, S.A.de C.V.
10. Kaoru Ishikawa, "Introducción al Control de Calidad", Ediciones Diaz de Santos, S.A., Juan Bravo 3ª 2806 Madrid, España, 1994.
11. D.H. Stamatis, "Introduction to Risk and Failures: Tools and methodologies", Taylor and Francis, 2014.
12. Gary G. Jing, Article "Digging for the Root Cause", Six Sigma Forum Magazine, ASQ, May 2008.
13. Michael L. George, "The Lean Six Sigma Pocket Tool book- A Quick reference guide to nearly 100 tools for improving Process Quality, Speed, and Complexity", McGraw-Hill, 2005.
14. Peter S. Pande, Robert P. Newman, Roland R. Cavanagh, "The Six Sigma Way", McGraw-Hill, 2000.

15. Walter J. Michalski, “Six Sigma Tool Navigator – The Master guide for teams”, Productivity Press, New York, 2003.
16. Damodar N. Gujarati, “Econometría Básica”, Tercera edición, McGraw-Hill Interamericana, 1997.
17. Edgardo J. Escalante Vázquez, “Seis Sigma – Metodología y técnicas”, Editorial Limusa S.A. de C.V., 2004.
18. Joseph Paul Mitchell, Artículo, “Prueba de fundamentación”, Quality Progress, ASQ Press, Julio 2015.
19. George E. P. Box, William G. Hunter, J. Stuart Hunter, “Estadística para Investigadores”, Editorial Reverte, S.A., 2001.
20. Teng, S. (Gary), & Ho, S. (Michael). (1996). *Failure mode and effects analysis. International Journal of Quality & Reliability Management*, 13(5), 8–26. Doi:10.1108/02656719610118151
21. Peter Goos, Bradley Jones, and Bradley Jones,” Optimal Designs of Experiments”, John Wiley and Sons, Ltd., 2011.
22. Ming Tang, Jiukun Li, Ling-Yau Chan & Dennis K. J. Lin (2004) Application of Uniform Design in the Formation of Cement Mixtures, *Quality Engineering*, 16:3, 461-474, DOI: 10.1081/QEN-120027947
23. Gregory F. Piepel (1990) Screening Designs for Constrained Mixture Experiments Derived from Classical Screening Designs, *Journal of Quality Technology*, 22:1, 23-33, DOI: 10.1080/00224065.1990.11979202
24. Knapp, S. (2015). Lean Six Sigma implementation and organizational culture. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 28(8), 855–863. doi:10.1108/ijhcqa-06-2015-0079
25. Dahlgaard, J. J., & Mi Dahlgaard-Park, S. (2006). Lean production, six sigma quality, TQM and company culture. *The TQM Magazine*, 18(3), 263–281. doi:10.1108/09544780610659998

GLOSARIO

- *QFD – Quality Function Deployment* – Despliegue De La Función De Calidad.
- FODA – Fortalezas- Oportunidades – Debilidades- Amenazas, de Análisis FODA.
- TPH – Toneladas por hora – *Tonnes per hour*.
- *MINITAB*- programa de ayuda con herramientas estadísticas y gráficos.
- *ASTM – American Society for Testing of Materials*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de productos de la empresa Alamo Cement en 2021	10
Figura 2. Representación esquemática del proceso de producción y distribución de cementos Mortero en Alamo Cement.....	14
Figura 3. Mortero Tipo S - Histogramas de Resistencia a 3 Días, por año – 2019-2022.....	16
Figura 4. Mortero Tipo S - Histogramas de Color por año – 2019-2022.....	17
Figura 5. Histogramas de Resistencia a 3 Días, separados por año- Mortero Tipo N	18
Figura 6. Histogramas de Color por año - Mortero Tipo N.....	19
Figura 7. Correlaciones entre parámetros de prueba en Mortero Tipo S – Información de pruebas de calidad en compositos.....	20
Figura 8. Correlaciones entre parámetros de pruebas en Mortero Tipo N – Información de pruebas de calidad en compositos.....	21
Figura 9. Espectro de luz visible.....	27
Figura 10. Fotografía mostrando el instrumento Photovolt. Fuente: www.photovolt.com.....	27
Figura 11. Esquema de pantalla inicial de control de Molino 1 de Alamo Cement.	30
Figura 12. Objetivos internos de calidad para Mortero Tipo S, 2022.	40
Figura 13. Objetivos internos de calidad para Mortero Tipo N, 2022.	41
Figura 14. Diagrama de árbol mostrando los atributos críticos de calidad de los productos Morteros.....	44
Figura 15. Diagrama SIPOC de Alamo Cement.	45
Figura 16. Casa de la calidad enfocada a los productos Mortero de Alamo Cement.....	47
Figura 17. Diagrama general del proceso de producción de Morteros en Alamo Cement.	48
Figura 18. Análisis FODA.....	49
Figura 19. Cronograma Gantt del proyecto.....	57
Figura 20. Minitab. Como elegir un MSA	60
Figura 21. MINITAB – Procedimiento- estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad.....	61
Figura 22. MINITAB- Analizar datos	62
Figura 23. Estudio de Reproducibilidad y Repetibilidad del sistema de medición de COLOR...63	
Figura 24. Estudio de Reproducibilidad y Repetibilidad en COLOR. Estabilidad entre operadores.....	64
Figura 25. Estudio de Reproducibilidad y Repetibilidad del sistema de medición de COLOR – Hunterlab – parámetro L.	65
Figura 26. Estudio de Reproducibilidad y Repetibilidad del sistema de medición de COLOR – Hunterlab – parámetro L. Estabilidad entre operadores	66
Figura 27. Graficas de dispersión, Resistencia a 3 días y Color vs Perdida por ignición.	69
Figura 28. Graficas de dispersión, Resistencias, L y Color vs Caliza.....	70
Figura 29. Diagrama de flujo del proceso de producción de Mortero.....	72
Figura 30. Grafica de corridas de Color en Mortero Tipo S (2019 -Junio 2022) mostrando los Valores p.....	75
Figura 31. Grafica de corridas de Resistencias a 3 días en Mortero Tipo S (2019 -Junio 2022) mostrando los Valores p.....	76
Figura 32. Grafica de corridas de Color en Mortero Tipo N (2019 -Junio 2022) mostrando los Valores p.....	77
Figura 33. Grafica de corridas de Resistencias a 3 días en Mortero Tipo N (2019 -Junio 2022) mostrando los Valores p.....	78
Figura 34. Gráfica I-MR de Resistencias a 3 Días – Mortero Tipo S- compositos	80

Figura 35. Pareto de ocurrencia de eventos fuera de control de la resistencia a 3 días.....	81
Figura 36. Gráfica I-MR de Color -Mortero Tipo S – compositos	82
Figura 37. Gráfica I-MR de Resistencias a 3 Días – Mortero Tipo N – compositos	83
Figura 38. Pareto de ocurrencia de eventos fuera de control de la resistencia a 3 días.....	84
Figura 39. Gráfica I-MR de Color – Mortero Tipo N – compositos.....	85
Figura 40. Análisis de capacidad para Resistencias de 3 Días – Mortero Tipo S- compositos.....	86
Figura 41. Graficas I-MR y Prueba de Normalidad de las Resistencias a 3 días de Mortero Tipo S – compositos.	88
Figura 42. Informe de desempeño de proceso con Estadísticos de capacidad de proceso de las Resistencias a 3 días del producto Mortero Tipo S.	89
Figura 43. Análisis de capacidad para Color – Mortero Tipo S – compositos	90
Figura 44. Graficas I-MR y Prueba de Normalidad del Color en Mortero Tipo S – compositos...	92
Figura 45. Informe de desempeño de proceso con Estadísticos de capacidad de proceso para Color del producto Mortero Tipo S.	92
Figura 46. Análisis de capacidad para Resistencias a 3 días – Mortero Tipo N- compositos.....	93
Figura 47. Graficas I-MR y Prueba de Normalidad de las Resistencias a 3 días de Mortero Tipo N – compositos.	95
Figura 48. Informe de desempeño de proceso con Estadísticos de capacidad de proceso de las Resistencias a 3 días del producto Mortero Tipo N.....	95
Figura 49. Análisis de capacidad para Color en Mortero Tipo N- compositos	96
Figura 50. Graficas I-MR y Prueba de Normalidad del Color en Mortero Tipo N – compositos.	98
Figura 51. Informe de desempeño de proceso con Estadísticos de capacidad de proceso de las Resistencias a 3 días del producto Mortero Tipo N.....	98
Figura 52. Mortero Tipo S – Resistencias a 3 días con línea base y valor objetivo inicial.....	101
Figura 53. Desviación estándar mensual en resultados de Resistencias a 3 días – Mortero Tipo S – periodo Enero 2019 a Junio 2022.	102
Figura 54. Histograma de frecuencias de la desviación estándar mensual de las Resistencias a 3 días en Mortero Tipo S, periodo Enero 2019 a Junio 2022.	102
Figura 55. Mortero Tipo N – Resistencias a 3 días con línea base y valor objetivo inicial.	103
Figura 56. Desviación estándar mensual en resultados de Resistencias a 3 días – Mortero Tipo N – periodo Enero 2019 a Junio 2022.	104
Figura 57. . Histograma de frecuencias de la desviación estándar mensual de las Resistencias a 3 días en Mortero Tipo N, periodo Enero 2019 a Junio 2022.....	104
Figura 58. Gráfico de tendencias de uso de materiales para producir Mortero Tipo S.....	105
Figura 59. Gráfico de tendencias de uso de materiales para producir Mortero Tipo N.	106
Figura 60. Gráfico de tendencias de producción por hora – Mortero Tipo S – Promedios mensuales – periodo Enero 2019 a Junio 2022.	107
Figura 61. Gráfico de tendencias de producción por hora – Mortero Tipo N – Promedios mensuales – periodo Enero 2019 a Junio 2022.	107
Figura 62. Diagrama de causa efecto que plasma las relaciones entre variables Y y variables X.	111
Figura 63. Diagrama de árbol de fallas para el problema de color fuera de limites	114
Figura 64. Diagrama de árbol de fallas para el problema de resistencias fuera de especificaciones. Parte 1.....	115
Figura 65. Diagrama de árbol de fallas para el problema de resistencias fuera de especificaciones. Parte 2.....	116

Figura 66. Pareto de priorización de las entradas del proceso, siendo mayor prioridad la pesada de Caliza y Yeso, y en segunda instancia la correcta provisión de Caliza.	119
Figura 67. Distribución de las mediciones de Color en compositos de producción, ambos Morteros.....	123
Figura 68. Distribución de las Resistencias a 3 días en compositos de producción, ambos Morteros.....	124
Figura 69. Distribución de las perdidas por ignición en compositos de producción, ambos Morteros.....	124
Figura 70. Gráfico de dispersión entre la resistencia a 3 días y la pérdida por ignición.....	125
Figura 71. Grafica de dispersión de Color vs Pérdida por Ignición para cada tipo de Mortero ..	126
Figura 72. Gráfico de correlación entre Resistencia a 3 días y Pérdida por Ignición – Mortero Tipo S.	128
Figura 73. Gráfico de correlación entre Resistencia a 3 días y Pérdida por Ignición – Mortero Tipo N.....	129
Figura 74. Gráfico de correlación entre Color y Pérdida por Ignición – Mortero Tipo S.....	129
Figura 75. Gráfico de correlación entre Color y Pérdida por Ignición – Mortero Tipo N.....	130
Figura 76. Resultados de pruebas de hipótesis para Resistencia y Color de Mortero Tipo S (Compositos).....	132
Figura 77. Resultados de pruebas de hipótesis para Resistencia y Color de Mortero Tipo N (Compositos).....	133
Figura 78. Esquema explicativo de lectura - Sistema temario Clinker/Yeso/Caliza.....	136
Figura 79. Diseño Simplex de grado 3, que ajustara a modelo cubico completo. (1=100%)	137
Figura 80. Molino de Laboratorio.....	139
Figura 81. Graficas de Residuales para el modelo de Color.....	144
Figura 82. Graficas de Residuales para el modelo de L.	147
Figura 83. Graficas de Residuales para el modelo de a.	151
Figura 84. Graficas de Residuales para el modelo de b.	155
Figura 85. Diagrama ternario de mezclas, Clinker tiende afectar el parámetro L de color hacia tonos oscuros.....	156
Figura 86. . Diagrama ternario de mezclas, Clinker tiende afectar el Color hacia tonos oscuros.	157
Figura 87. Diseño Simplex múltiple - Una variable de proceso (TPH)	158
Figura 88. Valores individuales – Color vs. Toneladas por hora – Molino 1.....	164
Figura 89. Gráficos de caja – Color vs. Toneladas por hora – Molino 1.	164
Figura 90. . Valores individuales – L vs. Toneladas por hora – Molino 1.	166
Figura 91. Gráficos de caja – L vs. Toneladas por hora – Molino 1.....	167
Figura 92. Valores individuales – Resistencia a 3 Dias (PSI) vs. Toneladas por hora – Molino 1.	169
Figura 93. Gráficos de caja – Resistencia a 3 días vs. Toneladas por hora – Molino 1.....	169
Figura 94. Graficas de Residuales para Color.....	173
Figura 95. Gráficos de residuales para L.	176
Figura 96. Gráfico de residuales para a.....	179
Figura 97. Gráfico de residuales para “b”.	182
Figura 98. Gráfico de residuales para Blaine	185
Figura 99. Gráfico de residuales para Resistencias a 3 Días en ambos Morteros.....	189
Figura 100. Requisición de trabajo de mantenimiento	198

Figura 101. Comparación Capacidad de proceso – Antes/Después – Color – Mortero Tipo S	203
Figura 102. Comparación Antes/Después – Color – Mortero Tipo S – I-MR	204
Figura 103. Comparación Antes/Después – Color – Mortero Tipo S – Desempeño del proceso	204
Figura 104. Comparación Capacidad de proceso – Antes/Después – Resistencia a 3 días – Mortero Tipo S	206
Figura 105. Comparación Antes/Después – Resistencia a 3 días – Mortero Tipo S – I-MR	207
Figura 106. Comparación Antes/Después – Resistencia 3 días – Mortero Tipo S – Desempeño del proceso	208
Figura 107. Comparación Capacidad de proceso – Antes/Después – Color – Mortero Tipo N	209
Figura 108. Comparación Antes/Después – Color – Mortero Tipo N – I-MR	210
Figura 109. Comparación Antes/Después – Color – Mortero Tipo N – Desempeño del proceso	210
Figura 110. Comparación Capacidad de proceso – Antes/Después – Resistencia a 3 días – Mortero Tipo N	212
Figura 111. Comparación Antes/Después – Resistencia a 3 días – Mortero Tipo N – I-MR	213
Figura 112. Comparación Antes/Después – Resistencia 3 días – Mortero Tipo N – Desempeño del proceso	213
Figura 113. Resistencia a 3 días - Morteros S y N - Desempeño	220
Figura 114. Color - Morteros S y N - Desempeño	221
Figura 115. Producción y Consumo energético - Desempeño	222

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Requerimientos físicos para cementos mortero (Ref. ASTM C91/C91M -18).....	12
Tabla 2. Mortero Tipo S- Pruebas - Promedio and Coeficiente de Variación - 2019 a 2021.....	22
Tabla 3. Mortero Tipo N- Pruebas - Promedio and Coeficiente de Variación - 2019 a 2021	22
Tabla 4. Producción horaria y consumo energético por producto- Promedio anual - 2020 a 2021	22
Tabla 5. Volúmenes anuales por producto - 2020 a 2022.....	23
Tabla 6. Criterios para evaluar el numero obtenido Delta E.....	28
Tabla 7. Objetivos de resistencias para cementos Mortero de Alamo Cement, 2018 -2021.....	42
Tabla 8. Comparativo de desempeño con los productos de la competencia local, 2022	43
Tabla 9. Métodos de prueba en el que el laboratorio está inscrito con CCRL.....	67
Tabla 10. Métodos de prueba en el que el laboratorio está inscrito con CCRL.....	68
Tabla 11. Esquema de la definición operacional del problema.....	73
Tabla 12. Resultados de las pruebas de control en la gráfica I de Resistencias a 3 Días	81
Tabla 13. Resultados de las pruebas de control en la gráfica I de Color (Mortero Tipo S)	82
Tabla 14. Resultados de las pruebas de control en la gráfica I de Resistencias a 3 Días	84
Tabla 15. Resultados de las pruebas de control en la gráfica I de Color – Mortero N.....	85
Tabla 16. Matriz de causa efecto de la producción de morteros en Alamo Cement	118
Tabla 17. Análisis de modo y efecto de la falla (FMEA) de la producción de mortero.....	121
Tabla 18. Influencia de la proporción de materiales en la perdida por ignición de los morteros.	128
Tabla 19. Mezclas – corridas aleatoriamente.	137
Tabla 20. Tabla de resultados de Color y L, a, b.....	140
Tabla 21. Resultados de la Regresión escalonada para Color.....	141
Tabla 22. Coeficientes de regresión estimados para color (proporciones del componente)	141
Tabla 23. Análisis de varianza para Color (proporciones del componente)	142
Tabla 24. Ajustes y diagnósticos para todas las observaciones	143
Tabla 25. Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para Color.	144
Tabla 26. Resultados de la Regresión escalonada para L.	145
Tabla 27. Coeficientes de regresión estimados para L (proporciones del componente).....	145
Tabla 28. Análisis de varianza para L (proporciones del componente)	146
Tabla 29. Ajustes y diagnósticos para todas las observaciones	146
Tabla 30. Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para L	147
Tabla 31. Tabla de Resultados de la Regresión escalonada para “a”.....	148
Tabla 32. Coeficientes de regresión estimados para a (proporciones del componente).....	149
Tabla 33. Análisis de varianza para a (proporciones del componente)	149
Tabla 34. Ajustes y diagnósticos para todas las observaciones	150
Tabla 35. Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para “a”	151
Tabla 36. Tabla de Resultados de la Regresión escalonada para “b”	152
Tabla 37. Coeficientes de regresión estimados para b (proporciones del componente)	153
Tabla 38. Análisis de varianza para b (proporciones del componente).....	153
Tabla 39. Ajustes y diagnósticos para todas las observaciones de “b”.	154

Tabla 40. Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para b	155
Tabla 41. Corridas experimentales de mezcla, arreglo aleatorizado.	159
Tabla 42. Misma tabla de corridas de mezcla con variables de proceso codificadas.	160
Tabla 43. Resumen de Resultados de prueba por mezcla	161
Tabla 44. Comparativos de resultados a diferente nivel de producción	162
Tabla 45. Resultados de la Regresión escalonada para Color.	170
Tabla 46. Coeficientes de regresión estimados para Color (proporciones del componente)	170
Tabla 47. Análisis de varianza para Color (proporciones del componente)	171
Tabla 48. Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para Color	172
Tabla 49. Resultados de la Regresion escalonada para L.	174
Tabla 50. Coeficientes de regresión estimados para L (proporciones del componente)	174
Tabla 51. Análisis de varianza para L (proporciones del componente)	175
Tabla 52. Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para L	175
Tabla 53. Resultados de la Regresion escalonada para a. El R-cuadrado muy bajo	177
Tabla 54. Coeficientes de regresión estimados para a (proporciones del componente)	177
Tabla 55. Análisis de varianza para a (proporciones del componente)	178
Tabla 56. Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes.	178
Tabla 57. Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para a	179
Tabla 58. Resultados de Regresion escalonada para “b”.	180
Tabla 59. Coeficientes de regresión estimados para b (proporciones del componente)	180
Tabla 60. Análisis de varianza para b (proporciones del componente)	181
Tabla 61. Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para b	182
Tabla 62. Resultados de Regresion escalonada para Blaine.	183
Tabla 63. Coeficientes de regresión estimados para Blaine (proporciones del componente)	183
Tabla 64. Análisis de varianza para Blaine (proporciones del componente)	184
Tabla 65. Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes.	184
Tabla 66. Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para Blaine.	185
Tabla 67. Resultados de Regresion escalonada para Resistencia a 3 días.	186
Tabla 68. Coeficientes de regresión estimados para Resistencia a 3 Días.	187
Tabla 69. Análisis de varianza para Resistencias a 3 Días (proporciones del componente)	187
Tabla 70. Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para Resistencias a 3 Días.	188
Tabla 71. Matriz de prioridad de las acciones de mejora.	192
Tabla 72. Plan de implementación de mejoras – GANTT	193
Tabla 73. Guías de Calidad y Producción – Molienda de Cemento.	196
Tabla 74. FMEA con acciones proyectadas	197
Tabla 75. Pruebas de comprobación	199
Tabla 76. Valores de línea base -Mortero Tipo S.	200
Tabla 77. Comparativos de resultados – Ciclos vs Línea base. Mortero Tipo S.	201
Tabla 78. Valores de línea base -Mortero Tipo N	202

Tabla 79. Comparativos de resultados – Ciclos vs Línea base. Mortero Tipo N.....	202
Tabla 80. Nivel Sigma Antes y Después.....	215
Tabla 81. Variables con targets y límites de operación	218
Tabla 82. Plan de Control de Calidad para Cementos Mortero.....	219
Tabla 83. Ahorros anualizados a valor presente.....	223