

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

RECICLAJE DE ESMALTES CONTAMINADOS EN EL TONO DE
COLORES FUERTES Y PASTELES, EN LA EMPRESA FRANZ
VIEGENER ÁREA ANDINA S.A., DIVISIÓN SANITARIOS

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
QUÍMICO

FRANZ PATRICIO VERDEZOTO MENDOZA

fpverdezoto@gmail.com

DIRECTOR: MSc. PATRICIO FLOR

Patricio.flor@epn.edu.ec

Quito, Enero 2010

© Escuela Politécnica Nacional 2009
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Franz Patricio Verdezoto Mendoza, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Franz Patricio Verdezoto Mendoza

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Franz Patricio Verdezoto Mendoza, bajo mi supervisión.

Ing. Patricio Flor G. MSc.
DIRECTOR DE PROYECTO

AUSPICIO

La presente investigación contó con el auspicio financiero de la empresa Franz Viegener Área Andina S.A.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, Judith, madre incansable fuente de amor y esperanza, Ángel, padre que me dio la base necesaria de responsabilidad, deber y perseverancia, mi hermano Lenin por la amistad y la mutua paciencia, Paúl hermano donde la palabra y la risa es la mejor estrategia para levantar el ánimo. A todos gracias por esta familia que a pesar de estar alejados desde muy temprana edad por motivos ajenos a nuestra voluntad nunca perdimos la unidad y apoyo.

Al, Ing. Patricio Flor, que desde mis primeros años en la Universidad hasta la culminación con el proyecto bajo su dirección he conocido a una persona más que un guía, un carismático y humanístico líder, pues por estas cualidades se realizó el desarrollo de este proyecto en la empresa F.V., siendo una experiencia invaluable en mi formación personal y profesional.

Ing. Marco Bravo, por su continua guía en el desarrollo del proyecto, su incondicional apoyo dentro de la fábrica y lo más importante por ser un amigo, gracias.

A las personas que ayudaron de alguna manera a la culminación de este proyecto, y su buena acogida en la fábrica: Ing. Raquelita, Jaimito, Marquito, Ing. Espe, Ing. Juanca, Freddy, Luis, Pato, Jhony, Edwin y todos los operadores de la sección de fabricación de esmaltes.

A mi amigo y compañero incondicional en estos últimos años en la Poli, descubriendo que la amistad puede llegar a ganar un hermano, Fernando.

A Richar, Paty, Eli, Xavier, Fercho, Vane buenos amigos, por las últimas salidas como estudiantes espero sean muchas más en esta nueva etapa...

También quiero dar las gracias a mis compañeros y amigos hechos desde mi llegada a esta hospitalaria ciudad. No citaré nombres, pues seguramente tendría que apelar para los puntos suspensivos (...), y con ello quedarían escondidas personas por las cuales tengo admiración, y por ser especiales comprenderán la ausencia de sus nombres. A todos gracias por su compañerismo, amistad y paciencia.

DEDICATORIA

Dedicado a:

Mis padres Judith y Ángel

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
RESUMEN.....	xxii
PRESENTACIÓN.....	xxiii
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 PROCESOS DE APLICACIÓN Y RECICLAJE.....	1
1.1.1 PROCESOS DE APLICACIÓN DEL ESMALTE	1
1.1.1.1 Aplicación por Inmersión.....	2
1.1.1.2 Aplicación por pulverización	2
1.1.2 PROCESOS DE RECICLAJE	3
1.1.2.1 Reciclaje de Minerales	4
1.2 ESMALTES CERÁMICOS PARA SANITARIOS.	6
1.2.1 COMPOSICIÓN DE LOS ESMALTES	8
1.2.2 PROPIEDADES DEL ESMALTE.....	9
1.2.2.1 Propiedades Térmicas	9
1.2.2.2 Propiedades Químicas.....	10
1.2.2.3 Propiedades ópticas.....	11
1.2.2.4 Propiedades Mecánicas.....	11
1.3 PIGMENTOS INORGÁNICOS UTILIZADOS	11
1.3.1 COLORES DE LOS PIGMENTOS INORGÁNICOS UTILIZADOS	13
1.3.1.1 Azules.....	13
1.3.1.2 Amarillos.....	14
1.3.1.3 Grises	15
1.3.1.4 Negros	16
1.3.1.5 Rojos y Rosas.....	16
1.3.1.6 Verdes	17
1.4 MEDIDA DEL COLOR	18
1.4.1 PERCEPCIÓN PSICO-FÍSICA	18

1.4.1.1 Luz y Fuentes de Luz.....	18
1.4.1.2 Objeto.....	19
1.4.1.3 Observador.....	21
1.4.2 COLORES PRIMARIOS Y MEZCLAS.....	22
1.4.2.1 Mezcla Aditiva.....	22
1.4.2.2 Mezcla Sustractiva.....	23
1.4.3 ATRIBUTOS DEL COLOR.....	24
1.4.4 PRINCIPALES SISTEMAS DE CATEGORIZACIÓN DE COLORES.....	25
1.4.4.1 El Modelo de Münsell.....	25
1.4.4.2 El Modelo de NCS.....	27
1.4.5 CUANTIFICACIÓN DE LAS DIFERENCIAS ENTRE COLORES.....	31
1.4.6 DESCRIPCIÓN DEL COLOR EN LA INDUSTRIA.....	32
1.4.6.1 Metamerismo.....	33
1.4.6.2 Constancia de color.....	33
2. METODOLOGÍA.....	35
2.1 REVISIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL ESMALTE CONTAMINADO.....	35
2.2 CAMBIOS EN LOS PROGRAMAS DE PRODUCCIÓN Y PRUEBAS EN LAS ÁREAS INVOLUCRADAS, PARA MINIMIZAR LA CONTAMINACIÓN EN EL TONO DEL ESMALTE.....	36
2.2.1 MINIMIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL TONO EN EL ÁREA DE PROGRAMACIÓN DEL CONTROL DE PRODUCCIÓN (PCP).....	37
2.2.1.1 De colores fuertes.....	37
2.2.1.2 De colores pasteles.....	43
2.2.2 MINIMIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL TONO EN EL ÁREA DE FABRICACIÓN DE ESMALTES.....	43
2.2.2.1 En colores fuertes.....	43
2.2.2.2 En colores pasteles.....	44
2.3 CLASIFICACIÓN Y RECOLECCIÓN DE LOS ESMALTES CONTAMINADOS.....	45
2.3.1 DE COLORES FUERTES.....	45

2.3.1.1	Clasificación y recolección del esmalte contaminado procedente de las paredes de la cabina.	45
2.3.1.2	Clasificación y recolección del esmalte contaminado proveniente de las purgas de la bomba.	49
2.3.1.3	Clasificación y recolección del esmalte contaminado en colores fuertes proveniente de la bandeja posterior.....	50
2.3.2	DE COLORES PASTELES.	51
2.3.2.1	Clasificación y recolección del esmalte contaminado de las paredes de la cabina.....	51
2.3.2.2	Clasificación y recolección del esmalte contaminado proveniente de las purgas de la bomba.	51
2.3.2.3	Esmalte contaminado proveniente de la bandeja posterior de la cabina.	52
2.4	CARACTERIZACIÓN DE LOS ESMALTES EN BASE DE HUMEDAD Y COLOR.....	53
2.4.1	MEDIDA DE LA HUMEDAD	53
2.4.2	MEDIDA DEL COLOR	54
2.4.2.1	Medida del color del esmalte recolectado en las paredes.....	54
2.4.2.2	Medida del color del esmalte en colores fuertes recolectado en las purgas y de la bandeja posterior.....	57
2.5	REUTILIZACIÓN DE LOS ESMALTES RECOLECTADOS PARA PRODUCIR ESMALTES CON COLORES DE PRODUCCIÓN.....	59
2.5.1	RECUPERACIÓN DE ESMALTES CONTAMINADOS QUE PRESENTAN UNA BAJA CONTAMINACIÓN EN EL TONO.	59
2.5.2	RECUPERACIÓN DE ESMALTES QUE PRESENTAN UNA ALTA CONTAMINACIÓN EN EL TONO.....	62
2.5.2.1	De colores fuertes.....	62
2.5.2.2	De colores pasteles.....	64
2.6	ANÁLISIS FINANCIERA DEL PROYECTO	65
2.6.1	COSTOS DE LA MATERIA PRIMA RECOLECTADA Y RECUPERADA.....	65

2.6.2	COSTOS DE PRODUCCIÓN PARA REUTILIZAR EL ESMALTE RECOLECTADO.....	65
2.6.3	GANANCIA.....	66
2.6.4	INVERSIÓN.....	66
2.6.5	RETORNO SOBRE LA INVERSIÓN.....	67
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
3.1	REVISIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	68
3.2	RESULTADOS DE LA MINIMIZACIÓN EN LA CONTAMINACIÓN DEL TONO DEL ESMALTE EN LAS ÁREAS INVOLUCRADAS.....	73
3.2.1	DE COLORES FUERTES	73
3.2.1.1	Diseño de producción que se debe seguir para la minimización de la contaminación del esmalte, en el área de Programación del Control de la Producción (PCP).....	77
3.2.1.2	Diseño del Plan de Pruebas que se debe seguir para la realización de las pruebas de aprobación de Bach, en el área de Fabricación de esmaltes.....	82
3.3	CLASIFICACIÓN Y RECOLECCIÓN DE LOS ESMALTES CONTAMINADOS EN EL PROCESO DE ESMALTACIÓN	86
3.3.1	CLASIFICACIÓN Y RECOLECCIÓN DE COLORES FUERTES	86
3.3.1.1	Clasificación y recolección del esmalte contaminado de las paredes de la cabina.....	86
3.3.2	RESULTADOS DE LA CANTIDAD DE ESMALTE RECOLECTADO.....	91
3.3.2.1	De colores fuertes.....	92
3.3.2.2	Colores Pasteles	94
3.3.2.3	Total de esmalte recolectado.....	96
3.4	RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS MEDIDOS EN LOS ESMALTES RECOLECTADOS.....	98
3.4.1	COLORES FUERTES RECOLECTADOS DE LAS PAREDES DE LA CABINA.....	98
3.4.2	COLORES FUERTES RECOLECTADOS DE LAS PURGAS.....	101

3.4.3	COLORES FUERTES RECOLECTADOS DE LA BANDEJA POSTERIOR DE LA CABINA.	102
3.4.4	COLORES PASTELES RECOLECTADOS DE LAS PAREDES DE LA CABINA.....	103
3.4.5	COLORES PASTELES RECOLECTADOS DE LAS PURGAS.....	104
3.4.6	COLORES PASTELES RECOLECTADOS DE LA BANDEJA POSTERIOR.	104
3.5	RESULTADOS DE LA RECUPERACIÓN DEL ESMALTE RECOLECTADO A UN COLOR DE PRODUCCIÓN.....	106
3.5.1	RESULTADOS DE LA RECUPERACIÓN A UN TONO DE PRODUCCIÓN DE ESMALTES RECOLECTADOS QUE PRESENTAN UNA BAJA CONTAMINACIÓN EN EL TONO.....	106
3.5.1.1	Recuperación del tono de los esmaltes color Azul Mediterráneo, Verde Ciprés, Merlot y Mora recolectados.	106
3.5.1.2	Resultados de las pruebas térmicas de dilatometría en los esmaltes ajustados el tono.....	112
3.5.1.3	Resultados de las pruebas del ataque químico Acido-Base en los esmalte recuperados el tono.	113
3.5.1.4	Resultados de las pruebas del Absorción de agua en los esmaltes recuperados el tono.	114
3.5.1.5	Resultados de la cantidad de esmaltes recuperado y comparación antes y después del proyecto.	115
3.5.2	RESULTADOS DE RECUPERACIÓN A UN TONO DE PRODUCCIÓN, DE LOS ESMALTES RECOLECTADOS, QUE PRESENTAN UN ALTO GRADO DE CONTAMINACIÓN EN EL TONO.	116
3.5.2.1	De colores fuertes.....	116
3.5.2.2	De colores pasteles.....	121
3.6	EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO	126
3.6.1	COSTO DEL ESMALTE RECUPERADO	126
3.6.2	COSTO DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN Y REUTILIZACIÓN	126
3.6.3	GANANCIA.....	127

3.6.4	RETORNO SOBRE LA INVERSIÓN.....	127
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	128
4.1	CONCLUSIONES.....	128
4.2	RECOMENDACIONES.....	133
	BIBLIOGRAFÍA.....	134
	ANEXOS.....	138

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 2.1. Escala propuesta para obtener un diseño del Programa de Control de la Producción (PCP) semanal.....	42
Tabla 2.2. Escala propuesta para realizar indicaciones que contribuyan a disminuir la contaminación en el tono al realizar las pruebas de aprobación de bach.	44
Tabla 2.3. Coordenadas colorimétricas estándares para la producción de esmaltes de colores fuertes en la empresa F.V.....	59
Tabla 2.4. Coordenadas estándares de los colores pasteles de producción.	64
Tabla 2.5. Coordenadas colorimétricas estándares de los pigmentos utilizados en la fabricación de esmaltes coloreados, sobre la base cerámica utilizada.	64
Tabla 2.6. Costo de la inversión realizada.....	67
Tabla 3.1. Numeración de las cabinas de esmaltación de la fábrica de sanitarios F.V., y su distribución para la aplicación de cada color de esmalte.	68
Tabla 3.2. Cabinas de esmaltación que reciclan esmalte, color de aplicación en cada una, tiempo y turnos de operación.	69
Tabla 3.3. Tipo de materiales utilizados en la recolección del esmalte de las cabinas de esmaltación.....	70
Tabla 3.4. Procedencia, estado, destino y consecuencias del esmalte contaminado en las cabinas 4 y 6.....	71
Tabla 3.5. Resumen del principal problema del esmalte contaminado recolectado de las cabinas 4 y 6, y áreas involucradas.	72
Tabla 3.6. Resultados de la diferencia de color ΔE^* al mezclar: Azul Cobalto (AO) con 15% de esmalte color AM, CI, MO, ME y NE.	73
Tabla 3.7. Resultados de la diferencia de color ΔE^* al mezclar: esmalte Azul Mediterráneo (AM) con 15% de esmalte color ME, CI, MO, NE y AO.	74
Tabla 3.8. Resultados de la diferencia de color ΔE^* al mezclar: esmalte color Ciprés (CI) con 15% de esmalte color ME, AM, MO, NE y AO.....	75
Tabla 3.9. Resultados de la diferencia de color ΔE^* al mezclar: esmalte Merlot (ME) con 15% de esmalte color CI, AM, MO, NE y AO.	75
Tabla 3.10. Resultados de la diferencia de color ΔE^* al mezclar: esmalte color Mora con 15% de esmalte color ME, NE, AM, CI, y AO.	76
Tabla 3.11. Resultados de la diferencia de color ΔE^* al mezclar: esmalte color Negro con 15 % de esmalte color ME, MO, AM, CI y AO.....	77

Tabla 3.12. Clasificación de los esmaltes de colores fuertes recolectados en las paredes de la cabina, cuando se aplica esmalte color Azul Mediterráneo.	86
Tabla 3.13. Destino de los esmaltes de colores fuertes recolectados en las paredes de la cabina, cuando se aplica el esmalte color Azul Cobalto.....	87
Tabla 3.14. Destino de los esmaltes de colores fuertes recolectados en las paredes de la cabina, cuando se aplica el esmalte color Ciprés.....	88
Tabla 3.15. Destino de los esmaltes de colores fuertes recolectados en las paredes de la cabina, cuando se aplica esmalte color Merlot.	89
Tabla 3.16. Destino de los esmaltes de colores fuertes recolectados en las paredes de la cabina, cuando se aplica esmalte color Mora.	90
Tabla 3.17. Destino de los esmaltes en colores fuertes recolectados en las paredes de la cabina, cuando se aplica esmalte color Negro.	91
Tabla 3.18. Cantidad de esmalte recolectado en colores fuertes de las paredes de la cabina.	92
Tabla 3.19. Cantidad de esmalte recolectado de las purgas de la bomba de la cabina 6 (Colores fuertes).....	93
Tabla 3.20. Cantidad de esmalte recolectado en un mes de la bandeja posterior de la cabina 6 (colores fuertes).....	94
Tabla 3.21. Cantidad de esmalte recolectado en un mes de las paredes de la cabina 4, (colores pasteles).....	94
Tabla 3.22. Cantidad de esmalte recolectado en un mes de las purgas de la cabina 4, (colores pasteles).....	95
Tabla 3.23. Cantidad de esmalte recolectado en un mes de la bandeja posterior en la cabina 4, (colores pasteles).....	96
Tabla 3.24. Total de esmalte recolectado en un mes, proveniente de las paredes de las cabinas, de las purgas y de la bandeja posterior en colores fuertes y pasteles.	96
Tabla 3.25. Cuantificación de ΔE^* y porcentaje de sólidos de los esmaltes con colores fuertes, recolectados de las paredes de la cabina.	99
Tabla 3.26. Medida de los parámetros de color y humedad de colores fuertes recolectados de las purgas.....	101
Tabla 3.27. Medida de los parámetros de color y humedad del esmalte en colores fuertes recolectado de la bandeja posterior de la cabina.	102
Tabla 3.28. Medida de los parámetros de color y humedad del esmalte en colores pasteles recolectados de paredes.....	103
Tabla 3.29. Medida de los parámetros de color y humedad del esmalte con colores pasteles recolectados de las purgas.	104

Tabla 3.30. Medida de los parámetros de color y humedad del esmalte en colores pasteles recolectados de la bandeja posterior.....	104
Tabla 3.31. Ajuste de las coordenadas colorimétricas en los diferentes casos presentados del esmalte recolectado, para los esmaltes colores Azul Mediterráneo, Verde Ciprés, Merlot y Mora.	106
Tabla 3.32. Formularios para los casos presentados en el ajuste del tono de esmaltes color Azul Mediterráneo, Verde Ciprés, Merlot y Mora.	110
Tabla 3.33. Diferencia del coeficiente de dilatación entre la barbotina cerámica y los esmaltes recuperados el tono; y la comparación con el rango permitido por la empresa.	112
Tabla 3.34. Diferencia de color ΔE^* después del ataque químico con una solución del 10% de ácido Clorhídrico e Hidróxido de Sodio en los esmaltes recuperados el tono.	113
Tabla 3.35. Resultados de la prueba de absorción de agua realizada a los esmaltes recuperados el tono y enviados a producción.	114
Tabla 3.36. Tipo de materia prima utilizada en la fabricación de esmalte desde enero (2008) hasta agosto (2008).	115
Tabla 3.37. Mediciones colorimétricas y observación visual de las cargas preparadas según la metodología propuesta en colores fuertes con un alto grado de contaminación.	117
Tabla 3.38. Comportamiento de las coordenadas colorimétricas al añadir diferentes porcentajes de esmalte Azul Cobalto recuperado a la carga 1.	117
Tabla 3.39. Comportamiento de las coordenadas colorimétricas al añadir 50% de esmalte Azul Cobalto a la carga número 2.	118
Tabla 3.40. Comportamiento de las coordenadas colorimétricas al añadir 1% de pigmento mazarine (Azul) a la carga número 2.	118
Tabla 3.41. Kilos secos de esmalte recuperado aplicando la metodología presentada en la figura 3.27 en esmaltes de colores fuertes con un alto grado de contaminación en el tono.	120
Tabla 3.42. Mediciones colorimétricas y observación visual de las cargas preparadas en colores pasteles con un alto grado de contaminación.	121
Tabla 3.43. Formulario para los casos presentados para ajustar el tono del esmalte color Gris recuperado.	122
Tabla 3.44. Diferencia matemática de los coeficientes promedio de expansión (ACE) entre la barbotina cerámica y el esmalte Gris recuperado, y comparación con el rango permitido por la empresa.	123
Tabla 3.45. Diferencia de color ΔE^* después del ataque químico con una solución al 10% de Ácido Clorhídrico e Hidróxido de Sodio.	124

Tabla 3.46. Resultados de la prueba de absorción de agua realizada a una carga de esmalte color Gris recuperado y enviado a producción.....	124
Tabla 3.47. Kilos secos de esmalte recuperado aplicando el formulario de la tabla 3.43 para recuperar esmaltes contaminados en colores pasteles.....	125
Tabla 3.48. Costo total del esmalte recolectado desde el mes de Abril hasta Agosto del 2008.....	126
Tabla 3.49. Costo total del ajuste del tono de los esmaltes desde el mes de Abril hasta Agosto del 2008.....	126
Tabla A I. 1: Coordenadas estándar y tolerancias permitidas en la empresa F.V., para desarrollo de formulaciones y producción.	139
Tabla A III. 1: Medidas de las coordenadas en el esmalte recolectado de las paredes	141
Tabla A III. 2: Medidas de las coordenadas en el esmalte recolectado de las purgas.....	142
Tabla A IV. 1: Número de Bach que se ajustó el tono con 20% de esmalte Azul Cobalto recuperado.....	145
Tabla A VII. 1: Costo promedio de fabricación de esmalte.....	151
Tabla A VII. 2: Costo de los pigmentos.....	151

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1.1. El papel de la recuperación y el reciclado en el ciclo de los productos.....	5
Figura 1.2. Reciclado sin tratamiento.....	5
Figura 1.3. Reciclado con tratamiento.....	6
Figura 1.4. Radiación electromagnética percibida por el ojo humano, con longitud de onda aproximada para cada color en nm.....	18
Figura 1.5. Curvas espectrales de energía, de fuentes de luz estándar diferentes A, B y C.....	19
Figura 1.6. Curvas polares de dispersión de una superficie brillante (a) y un mate (b).	20
Figura 1.7. Corte transversal del ojo humano	21
Figura 1.8. Absorción óptima de conos y bastones por longitud de onda en nm.....	22
Figura 1.9. Mezcla aditiva de colores primarios (Rojo, Verde y Azul).	23
Figura 1.10. Mezcla sustractiva de colores secundarios (Cian, Magenta y Amarillo).	24
Figura 1.11. Variaciones en la luminosidad, con el tono y la saturación constantes.	24
Figura 1.12. Variaciones en la saturación, con el tono y la iluminación constantes.	25
Figura 1.13. Modelo de Münsell.	26
Figura 1.14. Sólido de münsell (a); Representación de la luminosidad, saturación y tono (b).	27
Figura 1.15. Colores opuestos del modelo NCS.	27
Figura 1.16. Diagrama cromático rectangular.....	28
Figura 1.17. Locus espectral y triángulo monocromático.....	29
Figura 1.18. Diagrama cromático CIE 1931.	30
Figura 1.19. Diagrama cromático CIE 1976 L*a*b*.	31
Figura 2.1. Cabina utilizada para el proceso de esmaltación en la fábrica F.V.....	35
Figura 2.2. Picnómetro y balanza OAUS Adventure utilizados para la medición de la densidad del esmalte.....	38
Figura 2.3. Agitador utilizado para mezclar esmalte de pruebas a escala de laboratorio.....	39
Figura 2.4. Cabina para la aplicación del esmalte a nivel laboratorio.....	40
Figura 2.5. Colorímetro marca MINOLTA utilizado para la medición de los parámetros de color en el espacio CIEL*a*b*	41
Figura 2.6. Tipos de placas utilizadas para la aprobación de un Bach en colores pasteles	45
Figura 2.7. Sitio seleccionado para la recolección de esmaltes contaminados.....	46
Figura 2.8. Instrumentos de limpieza utilizados para recolectar el esmalte de las paredes de la cabina	47
Figura 2.9. Coches utilizados para transportar el esmalte recolectado en colores fuertes de las paredes de la cabina.	47

Figura 2.10. Recipientes instalados para la recolección de esmaltes de colores fuertes procedentes de las paredes de la cabina.	48
Figura 2.11. Recipientes implementados para la recolección de esmalte contaminado por color proveniente, de las purgas de colores fuertes.	49
Figura 2.12. Recipientes utilizados para la recolección del esmalte contaminado procedente de la bandeja posterior de la cabina para colores fuertes.	50
Figura 2.13. Recipiente utilizado para la recolección del esmalte contaminado procedente de las purgas de los colores pasteles.	52
Figura 2.14. Recipiente utilizado para la recolección del esmalte contaminado procedente de la bandeja posterior de las cabinas.	53
Figura 2.15. Balanza de humedad MOISTURE BALANCE MOC – 120H.....	54
Figura 2.16. Recipiente de 400 litros y agitador utilizado para la preparación del esmalte procedente de las paredes de la cabina.	55
Figura 2.17. Instrumentos utilizados para limpiar el esmalte de hierro e impurezas	56
Figura 2.18. Copa FORD utilizada para medir la viscosidad de escurrimiento instantáneo (VEI) en unidad de tiempo.	57
Figura 2.19. Agitación de las purgas recolectadas en la cabina.	58
Figura 2.20. Dilatómetro ORTON MODEL 1600 D.	61
Figura 2.21. Mezcladora instalada para el proyecto en el área de fabricación de esmaltes.	67
Figura 3.1. Nueva disposición para la configuración de la programación del control de la producción, para el esmalte color Azul Cobalto.	78
Figura 3.2. Nueva disposición para la configuración del control de la producción, para el esmalte color Azul Mediterráneo.	78
Figura 3.3. Nueva disposición para la configuración de la programación de control de la producción, para el esmalte color Verde ciprés.	79
Figura 3.4. Nueva disposición para la configuración de la programación de control de la producción, para el esmalte color Merlot.....	80
Figura 3.5. Nueva disposición para la configuración de la programación de control de la producción, para el esmalte color Mora.	81
Figura 3.6. Nueva disposición para la configuración de la programación de control de la producción, para el esmalte color Negro.....	82
Figura 3.7. Nueva disposición a aplicar para la configuración de las pruebas para la aprobación de Bach, en un turno de esmalte color Azul Cobalto.	83
Figura 3.8. Nueva disposición a aplicar para la configuración de las pruebas para la aprobación de Bach, en un turno de esmalte color Azul Mediterráneo.....	83

Figura 3.9. Nueva disposición a aplicar para la configuración de las pruebas para la aprobación de Bach, en un turno de esmalte color Verde Ciprés.....	84
Figura 3.10. Nueva disposición a aplicar para la configuración de las pruebas para la aprobación de Bach, en un turno de esmalte color Merlot.....	84
Figura 3.11. Nueva disposición a aplicar para la configuración de las pruebas para la aprobación de Bach, en un turno de esmalte color Mora.....	85
Figura 3.12. Nueva disposición a aplicar para la configuración de las pruebas para la aprobación de Bach, en un turno de esmalte color Negro.....	85
Figura 3.13. Porcentaje de cada fracción de pérdida recolectada de esmalte.....	97
Figura 3.14. Porcentaje de recolección por tipo de procedencia del esmalte en los tipos de colores fuertes y pasteles.....	98
Figura 3.15. Producción de esmalte a partir del tipo de materia prima (MP)	116
Figura 3.16. Metodología para la preparación y ajuste del tono de esmaltes recolectados con un alto grado de contaminación en el tono.....	119
Figura 3.17. Dilatogramas del esmalte Gris recuperado (EB01 – GRIS) y la barbotina del cuerpo cerámico.....	123

ÍNDICE DE ANEXOS

PÁGINA

ANEXO I

Coordenadas colorimétricas estándar, y sus respectivas tolerancias para los colores de producción de la Fábrica de Sanitarios F.V.....139

ANEXO II

Plano del área de: Materia prima, Fabricación y Recolección de esmalte e implementación de la tina mezcladora.....140

ANEXO III

Mediciones colorimétricas de los esmaltes recolectados, y cálculo de ΔE^*141

ANEXO IV

Calculo de los límites de confianza con la teoría para muestras pequeñas de Student.....144

ANEXO V

Datos registrados en el análisis dilatométrico realizado con el Dilatómetro ORTON.....147

ANEXO VI

Cálculos de la evaluación financiera del proyecto.....149

ANEXO VII

Costos utilizados para la evaluación financiera.....151

ANEXO VIII

Características de la mezcladora adquirida para el proyecto.....152

RESUMEN

Inicialmente se realizó una revisión de la situación inicial del residuo de esmalte, en base a estos resultados se planificó y aplicó una minimización en la contaminación del tono en el proceso de esmaltación y áreas involucradas. Luego se clasificó y recolectó el esmalte, tomando en cuenta factores de color y humedad. Se implementó y organizó un área y las herramientas necesarias para ello, cuantificando en un mes 3944,1 Kg secos de esmalte contaminado correspondiendo el 74,9% a esmaltes de colores fuertes y 25,1% de esmaltes en colores pasteles.

La recuperación del tono del esmalte contaminado a uno de producción se lo realiza en base al criterio de la cuantificación de la diferencia del color ΔE^* , calculada a partir de la medición de los parámetros de color CIEL*a*b* en las diferentes fracciones de pérdidas recolectadas. Según esto se recuperó el tono del esmalte a uno de producción, para lo que se realizó mezclas entre esmaltes de diferentes colores, y adición de pigmentos, diseñando formularios para los tipos de contaminación presentados.

Se evaluó la diferencia entre el coeficiente de expansión promedio a 500 °C del soporte cerámico y el esmalte recuperado el tono, obteniendo rangos dentro de la norma utilizada por la empresa, esto se representa en el producto final al estar libre de roturas y craquelados, además de demostrar que el pigmento añadido y el esmalte no alteran a la composición química de la base del esmalte, también representado por la resistencia al ataque químico y una absorción de agua menor del 0,5 %, normada para porcelana sanitaria.

Financieramente la recuperación del residuo de esmalte contaminado como materia prima presentó una ganancia promedio de 3509,15 USD mensuales, evaluada en base a un periodo de cinco meses y también representó el 32,85 % de la utilización como materia prima de esmalte en colores fuertes.

PRESENTACIÓN

La industria a nivel mundial ha entrado en un proceso de mejoras en su gestión medioambiental, llevando a un cambio en las percepciones de los empresarios que empiezan a ver en esta mejora una oportunidad para ampliar y mejorar su ventaja competitiva (Imedes, 2000).

En nuestro País, la empresa Franz Viegner dedicada a la fabricación de porcelana sanitaria, perteneciente a la multinacional F.V., ha tomado como reto generar oportunidades de mejoras, que incluyen varios estudios entre ellos este proyecto, que tiene como objetivo recuperar el esmalte contaminado en el tono generado en las instalaciones del proceso de aplicación del esmalte, utilizando para su desarrollo, en lo posible la mayor cantidad de recursos materiales, laboratorios y procesos existentes en la empresa, con la finalidad de optimizar y generar una mayor utilidad, a más de no generar algún componente no amigable con el medio ambiente.

El proyecto disminuirá la utilización del consumo de materia prima virgen en base a la sustitución por material recuperado, y con esto se disminuirá la presencia de esmaltes y por consecuencia metales pesados contaminantes, dependientes de la composición del esmalte, en los lodos y piscinas de aguas residuales, beneficiando de esta manera al medio ambiente y obteniendo además un beneficio económico.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 PROCESOS DE APLICACIÓN Y RECICLAJE

1.1.1 PROCESOS DE APLICACIÓN DEL ESMALTE

Dependen de la forma, el tamaño, la cantidad, la estructura o incluso de los efectos que se deseen obtener en la superficie de los productos.

Los métodos de aplicación se agrupan bajo tres tipos generales:

- a) Vía húmeda
- b) Polvo o vía seca
- c) Gaseosa

El primero incluye todos los métodos en los que se encuentran sólidos en suspensión en agua u otros líquidos.

Para la aplicación en seco de esmaltes existen dos técnicas: una es la aplicación de granillas, utilizado ampliamente en la aplicación de los esmaltes llamados “esmaltes pulibles”; la segunda técnica aún en vías de desarrollo, es la aplicación electrostática (Hohemberger, 2002)

Los procesos gaseosos son acoplamiento por exposición del cuerpo en atmósferas de sustancias volátiles durante el proceso de quema (Parmelee, 1973).

En la industria cerámica para sanitarios se emplean los métodos de aplicación por vía húmeda que pueden ser: pintado, vertido, inmersión, pulverización, por cortina continua, por contacto, etc. Los dos primeros son métodos utilizados por artesanos y decoración, en cambio los otros métodos son utilizados por la industria a gran escala como la de azulejos, sanitarios etc. (Hohemberger, 2002).

En la industria cerámica de sanitarios que nos ocupa; se utilizan los llamados métodos generales, que corresponden a la inmersión y pulverización.

1.1.1.1 Aplicación por Inmersión

Consiste en sumergir la pieza cerámica en el esmalte, con la ayuda de las herramientas adecuadas, para obtener una capa homogénea con un espesor adecuado y en el menor tiempo posible (Parmelee, 1973). Este proceso requiere mucha práctica especialmente si los objetos presentan una forma irregular y siempre se utiliza cuando se quiere cubrir totalmente de esmalte la pieza (Acevedo, 2008).

La aplicación por inmersión presenta dos variantes: escurrido forzado y natural. En el escurrido forzado el esmalte presenta mucha resistencia al fluido a lo que se necesita de un sacudido para eliminar el exceso. En el escurrido natural la suspensión de esmalte presenta una resistencia menor a la anterior y la eliminación del exceso se realiza por simple efecto natural de la gravedad.

1.1.1.2 Aplicación por pulverización

El principio es generar altas velocidades de flujo a altas presiones, esto se obtiene con un determinado caudal de aire canalizado a través de una tobera hacia la cabeza del atomizador, hasta juntarse en la salida con el esmalte proveniente de un recipiente, el que por medio de succión es expulsado por la cabeza del atomizador, creando una nube de esmalte que es depositado en la pieza cerámica. El equipo requerido es; un spray de goma o atomizador, un reservorio de esmalte, un soporte para las piezas, y usualmente una cabina para aplicar el esmalte atomizado, además de la protección para el operador (Parmelee, 1973).

La calidad del esmaltado por pulverización está determinado por los siguientes parámetros: densidad, tixotropía de la base del esmalte, tamaño de partícula, flujo

de alimentación del esmalte, presión y flujo de aire, apertura de la boquilla, temperatura y porosidad de la pieza (Durán, 2002).

Este método de aplicación es el utilizado en la fábrica de sanitarios F.V. manteniendo una muy buena calidad en la aplicación. La gran desventaja de este método de aplicación es la cantidad de esmalte que se queda sin aprovechar, dado principalmente por la forma asimétrica de las piezas.

1.1.2 PROCESOS DE RECICLAJE

Los residuos de la industria cerámica son muy variados como: partículas de polvo, residuos sólidos, semisólidos y líquidos. En la sección de esmaltado se generan estos residuos en gran medida por la pulverización del esmalte en la aplicación, a más de los residuos depositados en las inmediaciones, estos esmaltes crudos pueden ser inhalados o pueden liberarse al medio ambiente con facilidad conteniendo metales pesados (Elias, 2001).

En algunos procesos cerámicos, principalmente en el proceso de aplicación existe un gran debate por considerar la materia prima no utilizada como subproductos o como residuos, considerando que ambos conceptos son muy diferentes.

La distinción entre subproducto y residuo, parte de una distinción entre materia prima y materiales residuales. Mientras que la primera son sustancias producidas únicamente con la intención de utilizarlas en un proceso de producción, las segundas son materiales que surgen de forma inevitable durante la fabricación o uso de un producto.

Se han dado muchos conceptos sobre residuo. La Resource Conservation and Recovery Act, (RCRA) define al residuo sólido, y es acogido por la industria y la legislación en Europa, como “cualquier basura, desecho o fango procedente de las plantas con tratamiento de agua, o de una instalación de depuración del aire y de cualquier otro material abandonado, incluyendo los materiales sólidos,

semisólidos, líquidos o materiales gaseosos que se encuentran en contenedores cerrados, que sean el resultado de actividades industriales, comerciales, mineras o de la agricultura....” (Sanz, 2005), y es con esta que se puede realizar los procesos de reciclaje.

La RCRA, aclara además, que para considerar residuo a un material que se reutiliza como materia prima o ingrediente en una industria, tiene que pasar por un proceso previo de recuperación (Sanz, 2005). Este concepto coincide exactamente para la clasificación del material obtenido en la empresa Franz Viegner como residuo, ya que se realizará una recuperación previa del tono en este residuo, para volverlo a utilizar como materia prima.

Los residuos de la industria cerámica en general, contienen varios elementos que afectan a la naturaleza y la vida humana, siendo los principales de estos elementos nocivos los siguientes: Zr, Zn, Pb, As, Tl, Ba y Cs, que entran en el uso y fabricación de esmaltes cerámicos; y Se, Ce, Cd, Cr y Co que intervienen en el uso y fabricación de los pigmentos cerámicos (Minguillón, 2007).

1.1.2.1 Reciclaje de Minerales

Los minerales son recursos naturales limitados y no renovables, estos dan origen a muchas industrias relacionada a los metales y derivados, cerámica y muchas otras que se encuentran ligadas en la mayor parte de la actividad humana.

El ciclo de vida de los recursos minerales está dado básicamente por el siguiente esquema.

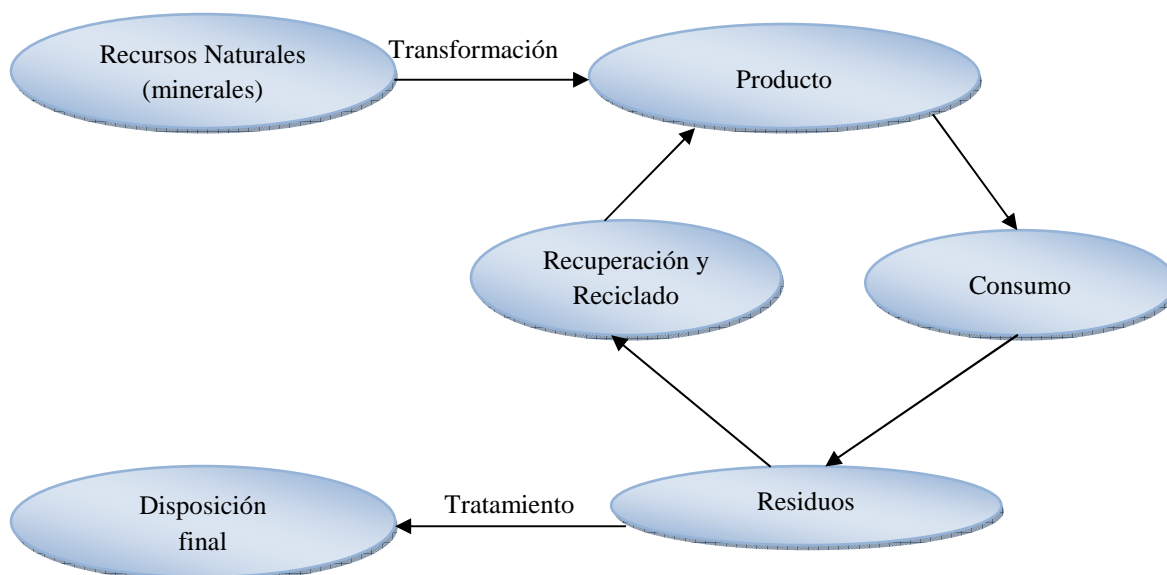


Figura 1.1. El papel de la recuperación y el reciclado en el ciclo de los productos.

En los minerales se puede plantear dos tipos de reciclado: el reciclado sin tratamiento y el reciclado con tratamiento.

El primero corresponde a los materiales recuperados que no sufren alteraciones importantes en su estado físico, químico o biológico, de modo que permite su reutilización de la misma forma a la original (Pardavé, 2006). La propuesta del proyecto en la empresa F.V corresponde a este tipo, ya que recuperaremos el esmalte sin alterar su estado físico-químico para reutilizarlo nuevamente en producción, lo que en forma general está representado en el siguiente esquema.

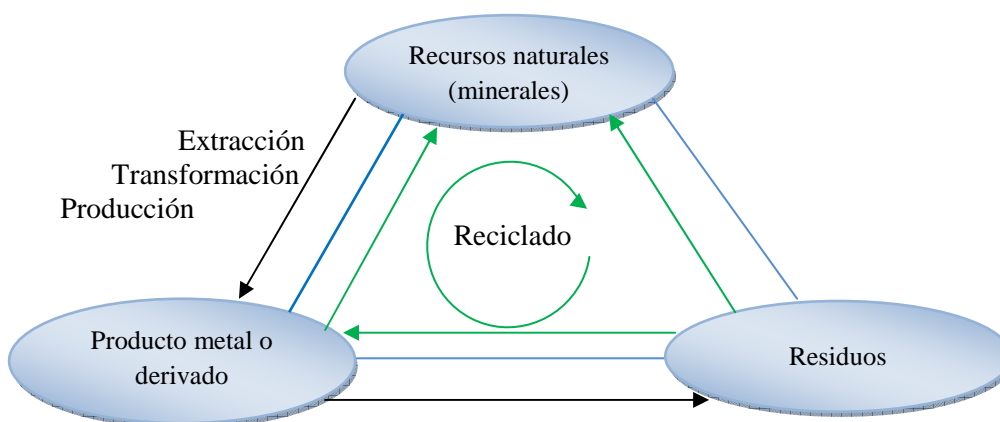


Figura 1.2. Reciclado sin tratamiento.

(Pardavé, 2006)

El reciclado con tratamiento corresponde a los materiales recuperados que se someten a una transformación y son reutilizados de una forma diferente a la original. A modo de ejemplo es el tratamiento de chatarra de automóviles, el que está representado por el siguiente esquema.

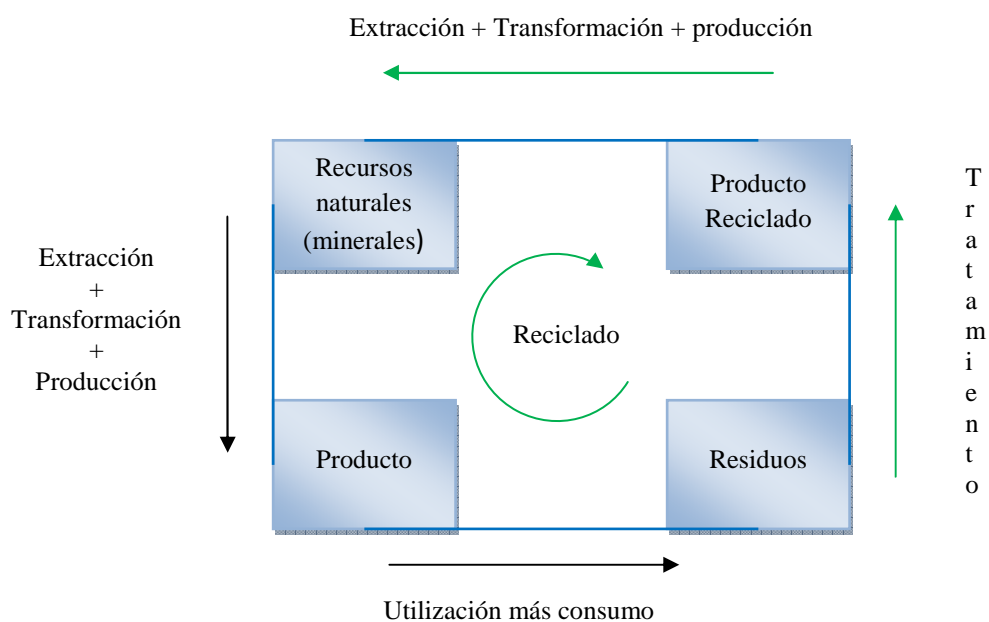


Figura 1.3. Reciclado con tratamiento.

1.2 ESMALTES CERÁMICOS PARA SANITARIOS.

Los esmaltes cerámicos para sanitarios no difieren en gran medida de la cerámica tradicional porcelánica a la cual pertenecen y entre las que se encuentra la industria de azulejos, vajilla porcelánica, porcelana de huesos, esmaltes y engobes.

El esmalte es todo compuesto o mezcla de ellos que funden total o parcialmente a ciertas temperaturas, seguido de un enfriamiento para formar una fina capa de vidrio o vitriocrystalina (mixta de vidrio y cristales) coloreada o no (Gómez-Tena *et al.*, 2009), que cubre la superficie de un cuerpo determinado, que tiene como finalidad impermeabilizar la superficie, dar un atractivo visual y resistencia a los agentes físicos y químicos (Vicentiz, 2007).

La formación de la fase vítrea en fusión empieza según el tipo de arcilla, pero sobre los 750°C, este líquido suele disolver a otros minerales (Elías, 2001).

Los esmaltes poseen porcentajes controlados de cristales en su estructura, el control se lo realiza mediante la composición del esmalte según los requerimientos y se forman durante la quema y el enfriamiento. Estos cristales son muy importantes en la coloración del esmalte, debido a que el cobalto, por ejemplo, y otros aditivos colorantes presentan una marcada tendencia a concentrarse en la fase cristalina que en la fase vítrea obteniendo un mejor producto principalmente en el brillo (Zurita, 2003).

La microestructura final del cristal hace de los esmaltes un material mucho más fuerte que los vidrios de los cuales provienen, además debido a su estructura cristalina interna los esmaltes son opacos (grises o blancos generalmente) en lugar de claros (Austin, 1982).

Los esmaltes carecen de un punto de fusión determinado, lo que los diferencia de los sólidos cristalinos (Austin, 1982). Esto se debe a las cantidades variables de energía requerida para romper los diferentes tipos de enlaces, iónicos y covalentes que forman la red, presentando intervalos de rompimiento y el debilitamiento progresivo de los enlaces al aumentar la temperatura, al mismo tiempo que exhiben graduales propiedades fluidas (Pracidelli, 2006).

Los esmaltes en fusión presentan una o más fases líquidas y en varios casos presentan fases gaseosas o cristalinas en suspensión. Por tanto se comportan como líquido viscoso a temperatura de maduración. Las propiedades en la fusión del esmalte son la capacidad de cristalización, tensión superficial y la viscosidad de fundido.

La cristalización consiste en la formación de estructuras cristalinas (estructuras ordenadas en medio de una estructura amorfa – desordenada) en ciertos intervalos de temperatura y a ciertas condiciones (Sorlí *et al.*, 2002). Esta cristalización ocurre en dos etapas: formación de núcleos en el centro de la

cristalización y crecimiento de los cristales, determinadas por el número de centros de cristalización y por la velocidad de crecimiento de los cristales. La capacidad de cristalización depende de ciertos factores siendo los principales: las condiciones de enfriamiento, viscosidad de fundido, tensión superficial y composición química del esmalte (Pradicelli, 2008).

Con ciclos largos de enfriamiento se obtienen bajas velocidades de enfriamiento que favorecen la obtención de vidriados cristalizados. La viscosidad y la tensión superficial influyen mucho en las cristalizaciones, debiendo ser estas condiciones bajas en la fusión (Pradicelli, 2008). La composición química del esmalte también tiene un papel importante, como sabemos la alúmina inhibe la formación de estructuras cristalinas por tanto cuanto más simple es la composición de un esmalte, tienen una tendencia a desvitrificación. (Parmelee, 1973).

El vidriado en el cuerpo cerámico se obtiene por monococción, que es la coccción del esmalte más soporte crudo, o bicocción, coccción del esmalte más el soporte cocido. En la fábrica de sanitarios F.V se utiliza la monococción del esmalte.

1.2.1 COMPOSICIÓN DE LOS ESMALTES

La selección de los componentes de un esmalte debe regirse a diferentes parámetros: granulometría, composición química, composición mineralógica, presencia de impurezas, fusibilidad, solubilidad en agua, toxicidad, comportamiento en el esmalte, dilatación térmica, área específica, etc. Son también importantes en la industria el comportamiento durante el almacenamiento, disponibilidad en el mercado, precio y actualmente el factor medioambiente (Pradicelli, 2008).

En la industria sanitaria los componentes básicos de un esmalte cerámico son: fritas, materias primas refractarias, fundentes, opacificadores, colorantes y aditivos de flotación y electrolitos (Austin, 1982). Todos estos componentes

contribuyen desde el mejoramiento de las propiedades reológicas para la aplicación en el cuerpo cerámico hasta la formación de una capa vítrea en el horno (Sánchez *et al.*, 2006).

1.2.2 PROPIEDADES DEL ESMALTE

Las propiedades de los esmaltes cerámicos son: Químicas, Mecánicas, Térmicas y Ópticas.

Las propiedades químicas se refieren a la resistencia contra ácidos y álcalis, y a la resistencia a la acción del agua.

Las propiedades mecánicas están dadas por la composición del esmalte, y se refieren a la resistencia a: la flexión, compresión, tensión y dureza.

Las propiedades térmicas se refieren especialmente al coeficiente de dilatación.

Por último, las propiedades ópticas responsables de la calidad estética presenta el color, brillo, opacidad entre otras (Hohemberger, 2002).

1.2.2.1 Propiedades Térmicas

La dilatación térmica es la variación dimensional producida con el aumento de la temperatura, su origen, es la vibración molecular. Un esmalte con un coeficiente de expansión térmico bajo, incrementa la resistencia al choque térmico (Sorlí *et al.*, 2002). El coeficiente de dilatación α está dado por:

$$\alpha = \frac{1}{L_0} \frac{\Delta L}{\Delta T \text{ } ^\circ\text{C}} \quad [1.1]$$

Donde:

$$\Delta L = L_f - L_0$$

L_f = Longitud final a una temperatura final T_f

L_o = Longitud inicial a una temperatura inicial T_o

$$\Delta T = T_f - T_o$$

En la industria cerámica esta propiedad es importante en el acople entre el vidriado y el soporte cerámico en el proceso de fusión, se requiere de un esmalte de propiedades dilatométricas compatibles con el soporte y su ciclo térmico (Sorlí *et al.*, 2002). En los enfriamientos se pueden desarrollar una serie de tensiones de tracción y compresión causadas por diferencias de los coeficientes de dilatación cuando el esmalte pasa de un amoldamiento a un vidrio rígido (Pracidelli, 2008).

1.2.2.2 Propiedades Químicas

Los productos cerámicos sanitarios están en contacto a diario con productos de limpieza: ácidos, bases, etc., por lo tanto deben presentar una alta resistencia a estos productos, además están expuestos continuamente al agua. La resistencia al ataque químico está ligado directamente a la composición del esmalte, la temperatura y el tiempo de cocción en el horno (Pracidelli, 2008).

La absorción del agua se da porque todo revestimiento cerámico tiene una cierta porosidad, cuanto menor es la porosidad de un revestimiento, menor es la cantidad de agua que él puede absorber, y mejor son sus características es así que la norma utilizada en la empresa F.V determina que la porcelana sanitaria fabricada, debe aceptar una absorción de agua máxima del 0,5 %, que es la norma general para clasificarla como porcelana (Ibero azulejos, 2008).

La absorción de agua en la práctica es muy importante porque nos ayuda a determinar la resistencia mecánica del revestimiento a las rajaduras, descascarado del esmalte, agrietamientos y la tendencia a despegarse, esto es muy importante en aplicaciones donde puedan existir riesgos de impactos. (Ibero azulejos, 2008).

1.2.2.3 Propiedades ópticas

Estas propiedades expresan la estética del producto y dependen de la composición química del esmalte, el brillo es caracterizado por la reflexión de la luz cuanto mayor es la luz reflejada mayor es el brillo. La opacidad es producida por la dispersión de la luz en un medio heterogéneo, uniformemente distribuido. La opacificación depende de la velocidad de propagación de la luz entre los componentes del esmalte que es caracterizado por sus índices de refracción, por el tamaño de sus partículas y por la cantidad presente en el esmalte. La coloración del vidrio es el resultado de la absorción de parte de la radiación incidente, dando lugar a diversos colores (Pradicelli, 2007).

1.2.2.4 Propiedades Mecánicas

Son de mucho interés: la resistencia a tensión, reflexión, flexión e impacto, también la dureza y elasticidad. Todas estas dependen estrictamente de la composición del esmalte, según la presencia de cristales en el esmalte estas propiedades varían para las diferentes aplicaciones requeridas (Hohemberger, 2002).

1.3 PIGMENTOS INORGÁNICOS UTILIZADOS

Un pigmento cerámico es una sustancia inorgánica, que mezclada con matrices vítreas o de pasta porcelánica, se encuentra como fase cristalina dispersa que genera la coloración uniforme, de las mismas, para lo que debe reunir los siguientes requerimientos básicos (Monrós, 2006).

1. Termoestable: es decir, tiene una estructura cristalina estable a elevadas temperaturas. Según su estabilidad podemos diferenciar pigmentos de alta temperatura y de baja temperatura los primeros son utilizados en vajilla cerámica en segunda o tercera cocción, en revestimiento cerámico o incluso

en pavimento de gres. Los de elevada temperatura se utilizan para cerámica fina, para porcelana, así como en monococción, en decoración bajo cubierta y deben ser estables en la temperatura de maduración del esmalte, entre 1225 y 1300 °C (Alarcón, 2004).

2. Insoluble en la matriz vítrea. El pigmento se añade a un esmalte cerámico de naturaleza básicamente vítrea y debe mantener su entidad estructural en la cocción, produciendo la coloración homogénea de la matriz.
3. No modificar las propiedades de la matriz. El material debe ser un material con buenas propiedades físicas que no modifiquen las características de: resistencia mecánica a la abrasión, al agrietamiento y a los agentes atmosféricos, así como al ataque de ácidos y bases de la matriz.

Desde el punto de vista estructural un pigmento cerámico está integrado por una red cristalina huésped, donde se integra el componente pigmentante o cromóforo (normalmente un catión de transición) y los posibles componentes modificadores que confieren o reafirman las propiedades pigmentantes tales como el rendimiento del color, etc.

Los sistemas cromóforos pueden ser simples o compuestos. Los simples, son los iones de los elementos de transición, que introducidos como óxidos en la composición de un vidrio o un esmalte, pueden colorearlo; en cambio los sistemas compuestos, presentan estos iones colorantes integrados en una estructura cristalina como granate, espinela, circón, piroxeno (Camacho *et al.*, 2005)

Los pigmentos utilizados en la cerámica pueden ser clasificados de diferentes maneras mineralógica o química: como espinelas, mordientes o soluciones sólidas, también se clasifican por su principal componente como por ejemplo basados en zirconio, estaño, praseodimio, etc. En nuestro estudio utilizaremos la clasificación según el color (Alarcón, 2004).

Las proporciones de uso de pigmento en una base de esmalte, depende de la composición química del esmalte y del pigmento, generalmente varía del 1 al 10 %, llegando hasta el 15 % en peso del esmalte, por encima de este porcentaje no se solubiliza, se puede segregar en forma de espumas enturbiando el vidriado aunque no es un efecto opacificante propiamente, sino un defecto. Existen pigmentos presentes desde el 20 % hasta el 30 % pero con una composición específica de la base se obtienen las llamadas "aventurinas", con efectos reflectantes de aspecto metalizado (Morales, 2007).

1.3.1 COLORES DE LOS PIGMENTOS INORGÁNICOS UTILIZADOS

1.3.1.1 Azules

1. Pigmento Azul a base de Zirconio-Vanadio (Zr-V-Si)

El azul circonio-vanadio (Zr-V-Si), tiene como base el mineral circón que es una sustancia muy inactiva, es estable a bajas, medias y altas temperaturas en los esmaltes y pastas; es resistente a los ácidos y los álcalis, es altamente refractario, con un punto de fusión de aproximadamente 2550 °C. Por estas características es excelente material para base de colorantes cerámicos (Sociedad Española de cerámica y vidrio, 2008).

No necesita de bases de esmaltes especiales para presentar un buen comportamiento, presenta buena estabilidad de quema, inclusive en atmósfera reductora. Para obtención de colores verdes puede ser combinado con pigmentos amarillos del tipo (Zr-Pr). Su tonalidad característica es el turquesa o Azul celeste (Ferro, 2003).

2. Pigmento Azul a base de Cobalto (Co)

Son los colorantes más antiguos remontándonos a la cultura egipcia y griega, tienen un alto poder de coloración y su tono característico azul rojizo. Existen diferentes tipos de azul cobalto (Sociedad Española de cerámica y vidrio, 2008).

a) Silicato de cobalto (Co-Si) o Silicato de Aluminio y Cobalto (Co-Al-Si). Estos pigmentos especialmente Co-Si, sin alúmina es en general muy estable en esmaltes cerámicos (Sociedad Española de cerámica y vidrio, 2008).

Son los de mayor poder de pigmentación especialmente en esmaltes de base transparente, es recomendada la utilización de estos pigmentos en atmósferas oxidantes o neutras, en atmósferas reductoras pueden presentar metalización (Ferro, 2003).

b) Aluminio de cobalto (Co-Al) o Aluminato de Cobalto y Zinc (Co-Al-Zn). Estos colores son conocidos a menudo como azul de thenard o mate, se puede obtener una gama de posibles colores utilizando estos óxidos como el Azul Cobalto, Azul verdoso, etc. (Ferro, 2003).

1.3.1.2 Amarillos

a) En base de praseodimio de circonio (Zr-Pr), Se cree que la composición química de este pigmento es la misma que el azul de circonio, son relativamente intensos, brillantes y limpios y producen valores cromáticos más altos que el (Zr-V) y (Zn-V) (Sociedad Española de cerámica y vidrio, 2008). En general presentan un buen comportamiento en cualquier tipo de esmalte, especialmente en los que contienen circonio. Pueden ser combinados con azules (Zr-V-Si) para obtener tonos verdes (Ferro, 2003).

b) Vanadio de circonio (Zr-V), estos tipos de pigmentos tienen tendencias anaranjadas, presentan una óptima estabilidad hasta en condiciones adversas de quema, no son exigentes de composiciones de esmaltes especiales para su buen comportamiento (Ferro, 2003).

- c) En base de vanadio de estaño (Sn-V). Son nuevos en la industria, el vanadio pentavalente es amarillo, tetravalente es azul, tri y bi son negros o azules, no requieren en general de esmaltes especiales, la adición de óxido de estaño mejora el color y la estabilidad (Sociedad Española de cerámica y vidrio, 2008). Solo se utilizan en quema con atmósferas neutra u oxidante, pudiendo desaparecer completamente cuando actúa en atmósferas reductoras. Se debe evitar la quema en paralelo con verdes de cromo por la fácil migración y combinación de este óxido con estaño, ocasionando manchas rosadas, su uso está declinado por el alto costo del Sn (Ferro, 2003).

- d) En base de (Pb-Sb), Son a veces llamados amarillo de Nápoles. Estos pigmentos tienen una gran fuerza de pigmentación, se utiliza en esmaltes opacos, especialmente en esmaltes con contenido de plomo, mejoran su estabilidad con la adición de óxido de estaño (Sociedad Española de cerámica y vidrio, 2008). La estabilidad térmica de este pigmento es limitada especialmente en esmaltes con alto contenido de circonio, pudiendo sufrir descomposición (Ferro, 2003).

- e) En base de (Ti-Cr). Se recomienda su uso en quemas con atmósfera oxidante o neutra, en atmósferas reductoras tiende a desaparecer el color, presentan limitación de color (Ferro, 2003).

1.3.1.3 Grises

- a) En base de (Zr-Co), Como todos los pigmentos de circonio, presentan mejor comportamiento en esmaltes opacificados con silicato de circonio. Cuando los esmaltes tienen alto contenido de zinc, puede presentar una tonalidad acentuadamente azul, lo que también puede suceder en presencia de sodio, potasio y litio. Combinado con los pigmentos amarillos de (Zr-Pr), presentan coloración verde musgo muy estable (Ferro, 2003).

- b) En base de (Sn-Sb), presenta coloración gris azulado. Es utilizado solo en casos especiales debido a su alto costo y bajo poder de pigmentación. Como todo colorante a base de estaño, puede ser afectado por la atmósfera de quema, siendo lo recomendado solamente el uso en atmósfera neutra u oxidante (Ferro, 2003).

1.3.1.4 Negros

- a) En base de (Co-Cr-Ni). Presentan resultados satisfactorios en cualquier tipo de esmalte transparente. Pueden influir en el punto de fusión del esmalte y cuando se utiliza en atmósfera reductora puede causar metalización (Ferro, 2003).
- b) En base de (Cr-Fe). Tienen mejor intensidad de color que los negros (Co-Cr-Ni), son de bajo costo y se sustituye normalmente por las ventajas económicas que presenta. Presentan los mejores resultados en esmaltes transparentes (Ferro, 2003).

1.3.1.5 Rojos y Rosas

- a) En base de (Cr-Sn). Presentan un mejor comportamiento en esmaltes de plomo, altos en calcio y libres de magnesio, zinc y alúmina. Al utilizarlo en esmaltes opacos tiene una coloración rojo azulado, es recomendado el uso en atmósfera oxidante o neutra, ya que en atmósfera reductora tiendo a desaparecer (Ferro, 2003).
- b) En base de (Zr-Fe). De la gama de pigmentos rojos, estos son los más estables, presentan un buen comportamiento en cualquier tipo de esmalte. preferentemente se mezclan con los amarillos de zirconio (Zr-Pr y Zr-V), proporcionando tonos habanos muy estables (Ferro, 2003).

- c) En base de (Cr-Al), Rosa claro. Presenta los mejores resultados en esmaltes con alto contenido en zinc y alúmina, es estable en cualquier atmósfera de quema (Ferro, 2003).
- d) En base de (Mn-Al), Es utilizado especialmente en decoraciones, debido a su alta estabilidad, su uso es recomendado inclusive en el área de porcelana en atmósfera reductora (Ferro, 2003).

1.3.1.6 Verdes

- a) En base de (Co-Cr), Como en el caso de los colorantes azules de (Co-Cr), estos colorantes son recomendados principalmente para usar en vidriados transparentes libre de Zn, en los esmaltes opacos puede presentar impurezas. No es recomendado la quema en altas temperaturas con esmaltes amarillos de estaño por la fácil migración del cromo, puede presentar combinación de éste con el óxido de estaño del colorante amarillo ocasionando manchas rosadas en éste último. También puede presentar problemas de metalización y estabilidad en atmósferas neutras. Su color característico es el verde azulado representado por el radical (Co-Cr-Al-Mg) (Ferro, 2003).
- b) En base de (Cr-Ca). Notable por la intensidad y pureza de color obtenida a partir de este sistema, presenta la mejor estabilidad en atmósferas oxidantes o neutras y en esmaltes con altos contenidos de calcio pero libres de zinc y plomo. Su color característico es el verde victoria representado por el radical (Cr-Ca-Si) (Ferro, 2003).
- c) En base de (Zr-Cu). Presenta una tonalidad verde azulada, en esmaltes alcalinos modificará totalmente su comportamiento confiriendo una tonalidad azul turquesa (Ferro, 2003).

1.4 MEDIDA DEL COLOR

El color es el factor más importante en la estética de una pieza cerámica, debe presentar características de brillo y textura, éstos y más factores son explicados y cuantificados por la colorimetría (Hernández y Restrepo, 2007).

El color se basa en el ámbito físico y psicológico, definiéndose como un fenómeno físico-psicológico. En el ámbito físico es explicado mediante la óptica que se dedica al estudio de la luz, producción, propagación, medida y propiedades. La psicología alcanza el sentido de la vista, que tiene que ver con el observador (Mónros, 2007).

1.4.1 PERCEPCIÓN PSICO-FÍSICA

Explica que el color es la interpretación ejercida en el cerebro al observar un objeto que interactúa con la luz, entonces para describir el color existen tres factores importantes: la fuente de luz, el objeto iluminado y el observador.

1.4.1.1 Luz y Fuentes de Luz

En el espectro electromagnético, la luz visible corresponde a la banda de longitudes de onda entre 400 y 700 nm.

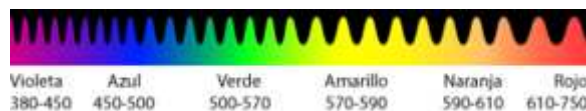


Figura 1.4. Radiación electromagnética percibida por el ojo humano, con longitud de onda aproximada para cada color en nm

La luz incandescente, solar, de un fluorescente son luces blancas al ojo humano, a pesar de que sus intensidades varían a diferentes longitudes de onda. Al descomponerse estas luces en sus radiaciones monocromáticas aparecen los colores del espectro solar, y visversa, al combinar las ondas de longitud fragmentadas genera la luz blanca. (Mónros, 2007)

El color depende en gran medida del tipo de iluminación, por lo que es importante la selección adecuada del tipo de iluminación para lograr una eficiencia en las actividades a desarrollar en ellos. Por esta razón, las longitudes de onda de las diferentes fuentes son muy importantes en el desarrollo de este estudio. Estas son caracterizadas por su curva espectral de distribución de la energía en función de la longitud de onda como lo muestra la figura 1.5.

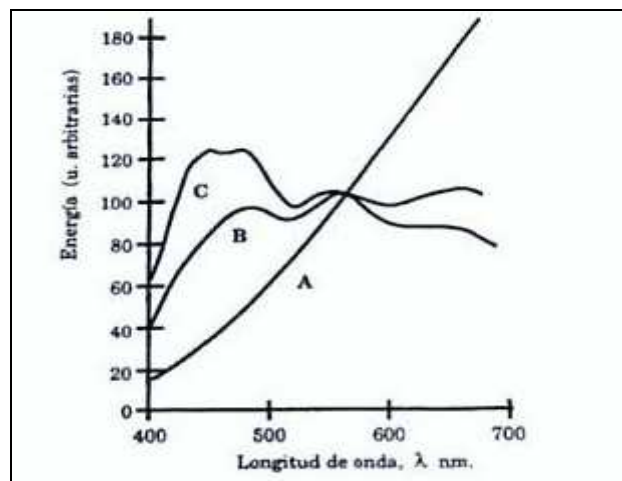


Figura 1.5. Curvas espectrales de energía, de fuentes de luz estándar diferentes A, B y C.
(Mónros, 2007)

1.4.1.2 Objeto

Todo objeto modifica y redistribuye las características espectrales de la luz que interaccionan con él, estas interacciones son estudiados por la “ciencia del aspecto” como atributos cromáticos y geométricos. Los atributos geométricos se relacionan con el brillo y textura de un objeto, mientras que los cromáticos están relacionados con el color de un objeto.

La interacción es necesaria para comprender la sensación del color y la apariencia de los materiales, permitiendo su medida y control. En el color de la cerámica hay dos tipos de interacciones de la luz: la reflexión especular y la reflexión difusa, la primera es típica de las superficies brillantes, mientras que la segunda depende de las características de la superficie y su opacidad.

La luz reflejada por una superficie se difunde en todas las direcciones, algunas frecuencias se reflejan más que otras y éstas dan al objeto el color característico.

La reflexión puede ser regular o especular, difusa y mixta: en el primer caso presenta brillo, en el segundo caso la superficie es mate. Un cuerpo mate difunde casi perfectamente la radiación, uno brillante la refleja casi toda con una difusión muy baja.

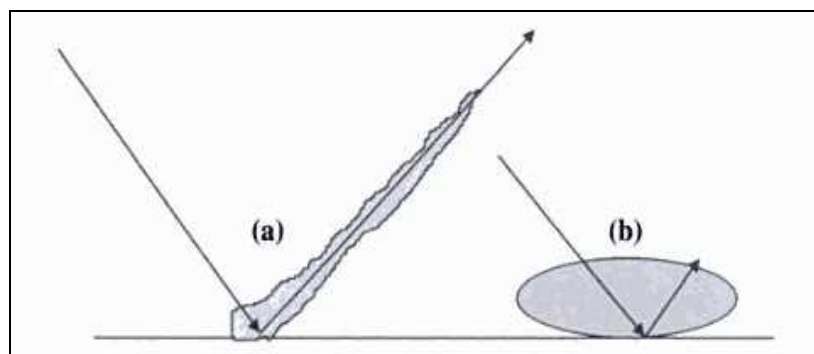


Figura 1.6. Curvas polares de dispersión de una superficie brillante (a) y un mate (b).

Los pigmentos cerámicos están compuestos por metales de transición (Cu, Ni, Fe, Mn, Co, Cr, V, Ti) en estados de oxidación diferentes, de transición d^x (x entre 0 – 10 , si $x = 0$ y $x = 10$ no producen color, al menos debido a las transiciones d-d), alojados en estructuras en que los índices de coordinación y simetría de los huecos es variado (Pradicelli, 2007).

1.4.1.3 Observador

El color percibido por el ser humano no es absoluto en una misma persona, esto quiere decir que una misma persona puede ver diferentes variaciones en un mismo color debido a factores físicos o psíquicos (cansancio, estado de ánimo, edad, etc). Esto puede provocar una imposibilidad a la hora de realizar un estudio, pero en realidad esta diferencia no nos impide a llegar a resultados concluyentes.

El ojo es el único órgano del cuerpo humano capaz de recibir las radiaciones electromagnéticas que llamamos colores. Esto se debe a que la parte posterior del globo ocular está recubierta casi totalmente por una capa de células sensibles a la luz llamada retina.

La luz entra en el ojo a través de la córnea, la intensidad es regulada en el iris y es enfocada por el cristalino a la retina, aquí la luz se convierte en señales nerviosas que son transmitidas al cerebro a través del nervio óptico. Esto se realiza a través de las células fotosensibles denominadas conos y bastones situados en la capa más profunda de la retina.



Figura 1.7. Corte transversal del ojo humano

Existen tres clases de conos, cada una de ellas con un pigmento fotosensible distinto. Los tres fotopigmentos tienen su capacidad máxima de absorción hacia los 430, 530 y 560 nm de longitud de onda, y por eso se los suele llamar azules, verdes y rojos.

En realidad las luces monocromáticas a 430, 530 y 560 nm no causan realmente la percepción de azul, verde y rojo, sino la de violeta, azul verdoso y amarillo verdoso. Por eso es más lógico denominarlos conos cortos (S), conos medios (M) y conos largos (L), por el tipo de longitud de onda a la que son sensibles comparativamente.

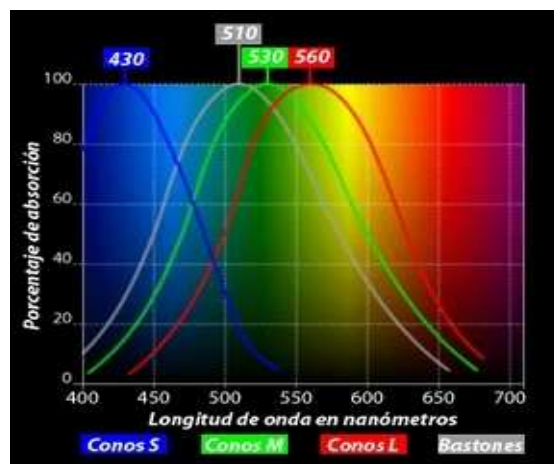


Figura 1.8. Absorción óptica de conos y bastones por longitud de onda en nm

Esto nos induce a pensar que existen cuatro tipos de señales visuales que se transmiten al cerebro, una por cada tipo de célula fotosensible (los bastones y los conos S, M y L). Pero en realidad la información se codifica en sólo tres tipos de señales denominadas canales, pertenecientes a los conos.

1.4.2 COLORES PRIMARIOS Y MEZCLAS

1.4.2.1 Mezcla Aditiva

Una mezcla de color aditiva hace referencia a la mezcla de distintas longitudes de onda, y se puede demostrar con gran facilidad superponiéndolas sobre una pantalla de proyección blanca. Básicamente implica añadir energía a una muestra.

La figura 1.9 muestra el resultado de la combinación entre sí de los tres colores primarios RGB, (azul, verde, rojo) y sus complementarios. Por ejemplo la suma de los colores verde y rojo da como resultado el color amarillo, llamado color secundario y su complementario azul, lo mismo se aplica para las demás adiciones. La suma de los tres colores primarios da como resultado el color blanco, es llamado también modelo RGB, y es utilizado en la industria de la televisión, ordenador, cine, etc) (Fotonostra, 2008).

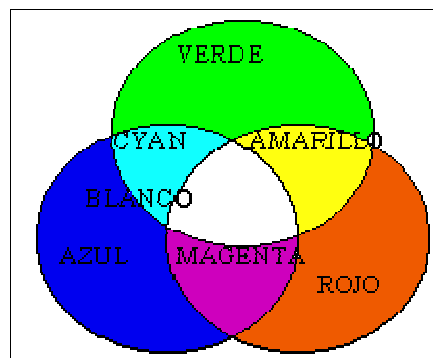


Figura 1.9. Mezcla aditiva de colores primarios (Rojo, Verde y Azul).

1.4.2.2 Mezcla Sustractiva

Una mezcla de color sustractiva hace referencia a la mezcla de diferentes tintes, pigmentos o pinturas que absorben ciertas longitudes de onda y reflejan otras. Básicamente implica quitar energía de una muestra por la combinación adecuada de tintes y pigmentos.

Toda mezcla no aditiva es sustractiva. En artes gráficas se suelen utilizar el cian, magenta y amarillo como colores primarios. El verde es el opuesto del magenta, lo que en este contexto significa que el magenta actúa como un filtro que absorbe el verde, la síntesis sustractiva se usa en la mayoría de los sistemas de impresión (Fotonostra, 2008).

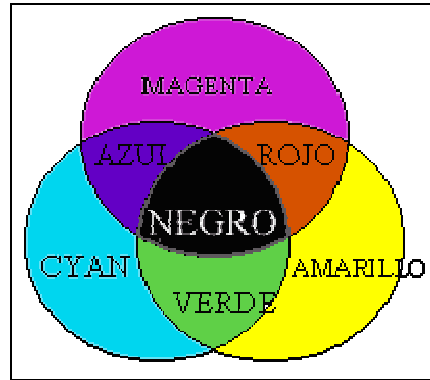


Figura 1.10. Mezcla sustractiva de colores secundarios (Cian, Magenta y Amarillo).

1.4.3 ATRIBUTOS DEL COLOR

Los atributos del color son tres:

- Tono o matiz
- Luminosidad, brillo o valor
- Saturación intensidad o croma

El tono es la característica que nos permite diferenciar entre rojo, verde, amarillo etc que comúnmente llamamos color.

La luminosidad nos indica la claridad u oscuridad de cada color o matiz, esto se logra mezclando el color con blanco o con negro, y la escala varía desde 0 en negro puro, hasta 10 en blanco puro. A menudo nos referimos a los colores como rojo claro a aquel matiz de rojo cercano al blanco, o de rojo oscuro cuando el rojo se acerca al negro.



Figura 1.11. Variaciones en la luminosidad, con el tono y la saturación constantes.

La saturación indica el grado de pureza que tiene un color determinado respecto al gris. Un color tiene una saturación alta cuando un color se expresa en toda su pureza y se encuentra libre de interferencias, es limpio por ejemplo: rojo, azul puro, verde etc. En cambio tiene una saturación baja, cuando el color se ha ensuciado con gris en cierta medida, obteniendo como resultado un matiz más impuro y apagado.



Figura 1.12. Variaciones en la saturación, con el tono y la iluminación constantes.

1.4.4 PRINCIPALES SISTEMAS DE CATEGORIZACIÓN DE COLORES

Existen muchos modelos que han tratado de alguna manera de categorizar los colores, pero los más aceptados y sobre los que se han sentado las bases de los modelos que se utiliza en los diferentes campos de la investigación y la industria son los siguientes.

1.4.4.1 El Modelo de Münsell

El espacio de color de Münsell está basado en la diferencia entre colores vecinos. Existe un orden natural de los colores en el sentido horario y uniformemente distribuidos, nos encontramos con rojo (R), amarillo (Y), verde (G), Azul (B), y púrpura (P). Estos colores se mezclan con los adyacentes para obtener una variación continua de un color al otro: amarillo-rojo (YR), verde-amarillo (GY), azul-verde (BG), púrpura-azul (PB) y rojo-púrpura (RP), siendo cada uno de ellos el complementario visual del color principal opuesto como lo muestra la figura 1.13.

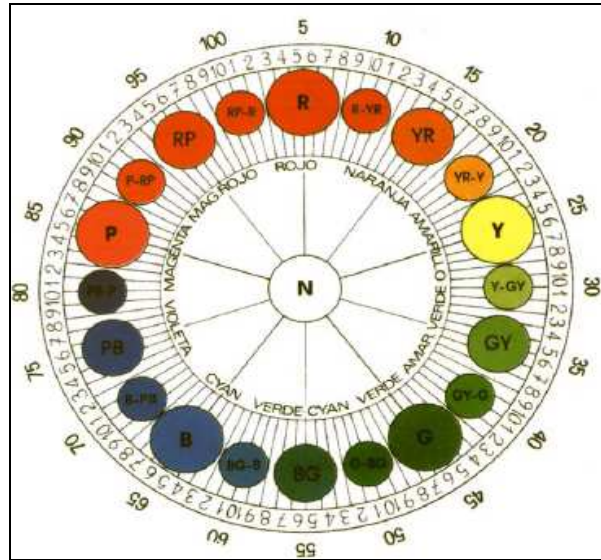


Figura 1.13. Modelo de Munsell.

Estos colores principales y mezclas dividen el círculo en diez segmentos iguales, que a su vez pueden ser subdivididos en subsegmentos iguales.

En 1905 Albert Munsell desarrolló el primer sistema de color moderno, basado en la distribución de forma precisa de los colores en un espacio tridimensional, de acuerdo con tres atributos propios de cada color.

El tono, la luminosidad y la saturación, pueden ser variados independientemente, de tal manera que todos los colores pueden situarse en un espacio tridimensional de acuerdo con estos tres atributos. Los colores neutros se sitúan a lo largo de la línea vertical, llamada eje neutral, con el negro puro (0) en la parte baja, blanco puro (10) en la parte de arriba y grises en el medio. Los tonos se muestran en varios ángulos alrededor del eje neutral. La escala de saturación es perpendicular al eje y aumenta hacia fuera como indica la figura 1,14 (a).

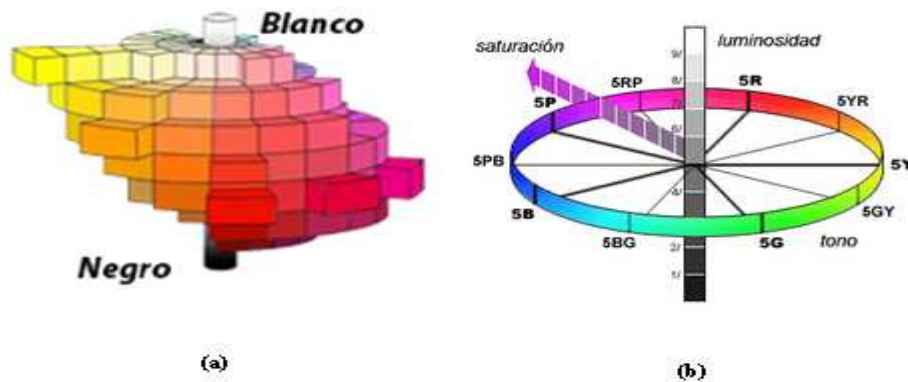


Figura 1.14. Sólido de munsell (a); Representación de la luminosidad, saturación y tono (b).

Este modelo es utilizado hoy en día en algunos países, y es representado por paletas, pero solo sirve a nivel industrial. En investigación se utilizan otros modelos.

1.4.4.2 El Modelo de NCS.

El Natural Color System (NCS) desarrollado en 1960, está basado en la teoría de los procesos opuestos del color. Este modelo reduce todos los colores visibles a la mezcla de cuatro únicos tonos opuestos: amarillo-azul y verde-rojo, a los que se le añaden el blanco y el negro.



Figura 1.15. Colores opuestos del modelo NCS.

Estos colores no pueden definirse en términos de los otros (por ejemplo, no podemos describir al rojo como "una mezcla de amarillo y magenta", aunque obtengamos rojo al mezclar pigmentos amarillo y magenta). El resto de los

colores pueden definirse en términos de los seis principales; el naranja, por ejemplo, puede entenderse como una mezcla de amarillo y rojo, y el marrón como un naranja muy oscuro (es decir, una mezcla de rojo, amarillo y negro).

En contra de la descripción psico-física cualitativa del modelo de Münsell, el modelo NCS atiende a la descripción filosófica-verbal fenomenológica del color, idealizado como una sensación pura.

1.4.4.3 El Sistema CIE (Comisión Internacional para la Iluminación)

El sistema CIE es el más utilizado, porque las fórmulas de diferencia de color avanzadas se basan en las coordenadas CIEL*a*b*, que son proporcionadas por un espectrofotómetro o colorímetro, además de su similitud con el sólido de münsell muy utilizado anteriormente.

La CIE parte de lo que sucede a nivel retinal en el ojo humano, que está basada a la propiedad aditiva de colores primarios, con estos tres colores (RGB) se obtiene el diagrama cromático rectangular que permite representar varios puntos de mezclas de colores, obteniendo un modo objetivo de representar el color que observamos.

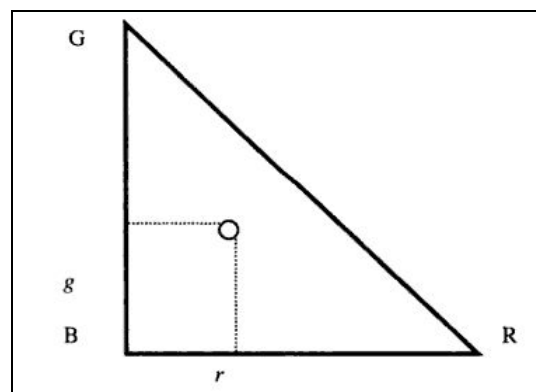


Figura 1.16. Diagrama cromático rectangular.

Este diagrama tiene un problema desde el punto de vista físico, un color espectral puro monocromático no puede producirse mediante la adición de tres primarios,

es decir que no existen tres primarios que pueden ser elegidos como base, y que contengan una gama de todos los colores posibles.

Esto implica que cuando se representan todos los colores en el diagrama cromático, varios de estos se sitúan fuera del triángulo definido por los tres primarios, sin una opción a ser cuantificados. El locus espectral (lugar geométrico de todos los colores espectrales o monocromáticos) contiene al triángulo RGB como lo muestra la figura 1.17 (Mónros, 2003).

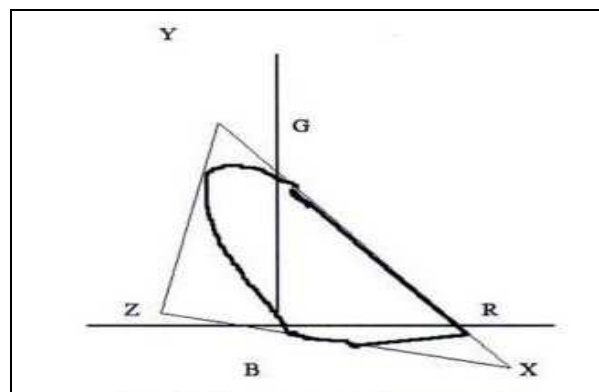


Figura 1.17. Locus espectral y triángulo monocromático.

Como se observa en la figura 1.17 se tendría que trabajar con valores negativos, para evitar ésto la CIE elige una base de colores primarios tal que el locus cromático se sitúe dentro del triángulo cromático y por tanto todas las coordenadas cromáticas sean positivas. Para cumplir ésto es necesario elegir unos colores primarios no reales, aunque si identificables en el diagrama cromático por sus coordenadas RGB. A estos nuevos primarios se les conoce como X, Y, Z de modo que siempre fueran posibles todos los estímulos cromáticos del mundo real. Para pasar del sistema RGB a valores triestímulos XYZ, para el iluminante luz de día que es con el que se captan las imágenes de color, se realiza un cambio de sistema base en el mismo espacio cromático tridimensional, mediante una operación matemática de matriz cambio, obteniendo un nuevo diagrama cromático propuesto por la CIE en 1931 y presentado en la figura 1.18. (Corbalán, 2003).

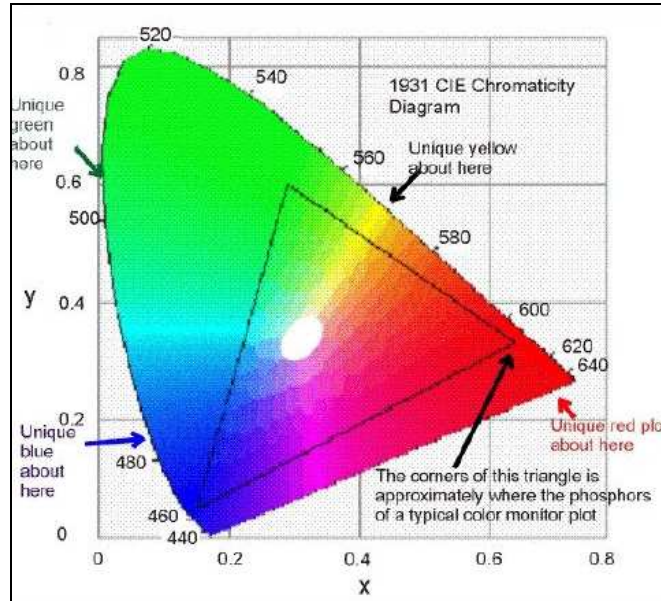


Figura 1.18. Diagrama cromático CIE 1931.

El diagrama de cromaticidad CIE 1931, es un diagrama tridimensional de los valores triestímulos X, Y, Z de un espacio de color. Lo más usual es que se expresen en términos de coordenadas de cromaticidad en un diagrama de cromaticidad.

El sistema XYZ y sus diagramas de cromaticidad asociados no son percibidos uniformemente, lo que dificultó el cálculo de las diferencias entre dos estímulos de color. La necesidad de un espacio de color uniforme condujo a la aplicación de una serie de transformaciones no lineales del espacio CIE XYZ 1931, que dieron forma a lo que hoy se conoce como espacio de color CIE 1976 $L^*a^*b^*$, o simplemente CIEL $^*a^*b^*$ que define que para un blanco de referencia se calculan las coordenadas CIEL $^*a^*b^*$, donde: L^* luminancia, mide la claridad en el eje de luminosidad y, va de 0 a 100, a^* mide la proporción de color verde (-) al rojo (+) denominado eje cromático (rojo-verde), y b^* mide la proporción del azul (-) al amarillo (+) denominado eje cromático (azul-amarillo). Estos ejes se presentan en el figura 1.19 (Calbo *et al.*, 2007).

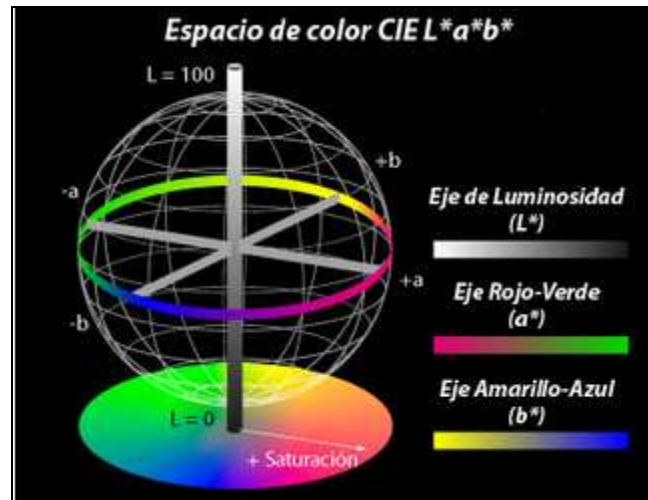


Figura 1.19. Diagrama cromático CIE 1976 $L^*a^*b^*$.

1.4.5 CUANTIFICACIÓN DE LAS DIFERENCIAS ENTRE COLORES

El cálculo de diferencias de color, es una aplicación muy demandada en la colorimetría. Así por ejemplo, cuando se habla de la reproducción del color en productos manufacturados y en sistemas de comunicación, o se estudia la degradación del color en alimentos, obras de arte, etc., se recurre habitualmente al cálculo de diferencias de color.

El espacio de color CIE $L^*a^*b^*$ proporciona una útil representación tridimensional de los estímulos percibidos del color. Su gran ventaja radica en la posibilidad de descomponer la diferencia de color total, en diferencias en cada uno de los atributos del color mencionados.

Si dos puntos en el espacio (que representan dos estímulos) son coincidentes, entonces la diferencia cromática entre ambos estímulos es igual a cero.

Según se incrementa la distancia entre esos dos puntos (L^*_1, a^*_1, b^*_1) y (L^*_2, a^*_2, b^*_2), es razonable suponer que va aumentando la percepción de que existe una diferencia cromática entre los estímulos que ambos puntos representan.

La forma de cuantificar la diferencia cromática entre dos estímulos, es medir la distancia euclídea, ΔE , existente entre dos puntos en un espacio tridimensional. El asterisco en la expresión ΔE^* se suele usar para indicar que es una diferencia CIE $L^*a^*b^*$.

Esta distancia se puede calcular así:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^{*2})} \quad [1.2]$$

Donde:

$$\Delta L^* = L^*_1 - L^*_2$$

$$\Delta a^* = a^*_1 - a^*_2$$

$$\Delta b^* = b^*_1 - b^*_2$$

1.4.6 DESCRIPCIÓN DEL COLOR EN LA INDUSTRIA

El espacio de color CIE $L^*a^*b^*$, en definitiva se implanta en base del sistema del color de Munsell con la combinación de tres parámetros de color, y nos proporciona:

- 1) La claridad que mide el grado de claridad/obscuridad o la progresión blanco gris negro
- 2) La características cromáticas que dan el tono del color en los ejes rojo-verde y amarillo-azul
- 3) La intensidad saturación o pureza del color, también denominado croma, que es la proporción de energía absorbida por el objeto

Cuando se trabaja con pigmentos, se utiliza el sistema CIEL*a*b*, que responde a la evaluación cromática de la figura 1.19 y la obtención de la diferencia entre colores con la cuantificación mediante ΔE^* de la ecuación 1.2.

Al evaluar, se debe tener en cuenta dos fenómenos el metamerismo y la constancia del color que pueden causar problemas, pero con buenas indicaciones se los evita obteniendo medidas muy confiables del color, especialmente en una comparación entre colores.

1.4.6.1 Metamerismo

Se entiende por metamerismo al fenómeno por el que, al comparar dos colores resultan ser visualmente iguales y por lo tanto en sus coordenadas CIEL*a*b*, son iguales al ser iluminados por un determinado iluminante, pero aparentar diferentes cuando son iluminados por otros iluminantes (Monrós, 2003).

En realidad los colores metaméricos presentan respuestas espectrales diferentes. Los colorímetros pueden detectar el metamerismo, al medir las coordenadas en al menos dos iluminantes diferentes.

1.4.6.2 Constancia de color

En general, al cambiar la luz excitadora, se debe cambiar también la respuesta de color, es decir, los colores cambian con el iluminante elegido. Cuando un color mantiene iguales sus constantes cromáticas y no modifica sus aspectos con el iluminante, decimos que el color es constante.

El ojo humano no es suficientemente sensible a las fluctuaciones de color tal y como son. Por tanto las medidas de los parámetros cromáticos se obtienen siempre con una indeterminación absoluta, por lo menos igual al umbral diferencial del color, es por eso que en las medidas colorimétricas de pigmentos

cerámicos se suele establecer una tolerancia de los parámetros cromáticos de: $\Delta L^* \pm 1$, $\Delta a^* = \pm 0,5$, $\Delta b^* \pm 0,5$. Con estas tolerancias evaluadas en la ecuación 1.2, se obtiene que dos colores son diferentes a partir de diferencias totales de color $\Delta E^* \pm 1,22$. Normalmente en manufactura de vidriados se acepta tolerancias de $\Delta E^* \pm 1,0$, esto quiere decir que la tolerancia tiene que ser para $L^* < \pm 1$, $\Delta a^* < \pm 0,5$, $\Delta b^* < \pm 0,5$ (Mónros, 2008).

Las medidas colorimétricas son una buena guía para comparar colores, pero deben ir siempre juzgadas por las diferencias visuales, ambas son al final las definitivas para juzgar la diferencia entre dos colores (Tortajada *et al.*, 2006).

2. METODOLOGÍA

El proyecto propuesto trabajó con las áreas de: materia prima, fabricación de esmaltes, esmaltación, programación y control de la producción (PCP), control de la calidad y laboratorio de cerámica, en la empresa Franz Viegener Área Andina División Sanitarios.

2.1 REVISIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL ESMALTE CONTAMINADO

En el proceso de esmaltación, la aplicación del esmalte se realiza en cabinas por el método manual de pulverización. En la figura 2.1 se detalla la cabina que se utiliza para la aplicación del esmalte y donde se producen los residuos de esmalte.

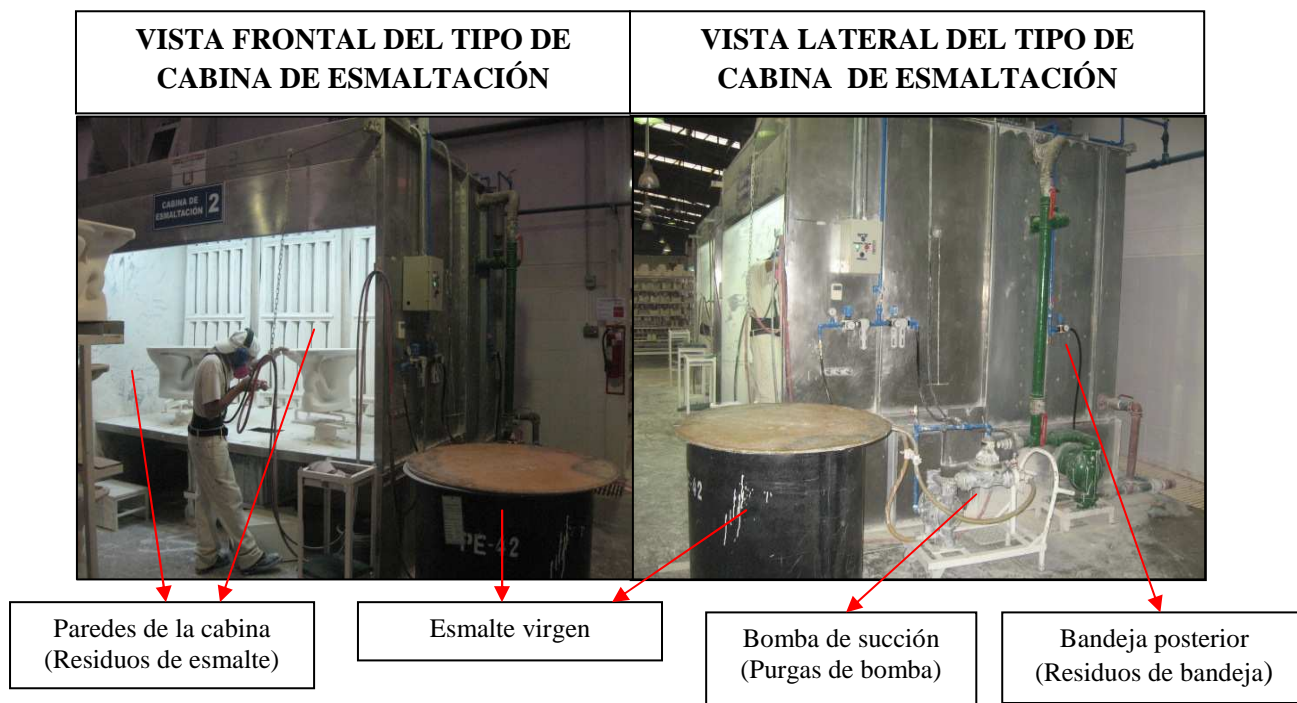


Figura 2.1. Cabina utilizada para el proceso de esmaltación en la fábrica F.V.

En el proceso de esmaltación, la pared del fondo de la cabina tiene una cortina de agua que recoge una fracción de esmalte perdido la cual es arrastrada hacia la bandeja posterior, otra fracción de esmalte pulverizado se deposita en las paredes internas de la cabina formando una capa y otra fracción se pierde en la bomba de succión.

La revisión de la situación actual se analizó de acuerdo a los siguientes aspectos:

- Número de cabinas existentes.
- Distribución de la aplicación de esmalte en cada cabina
- Turnos de aplicación del esmalte en las piezas.
- Tiempo de operación de las cabinas de esmaltación
- Tipo de materiales de limpieza y recolección del esmalte no depositado en las piezas.
- Destino final del esmalte no depositado en las piezas.
- Factores que impiden la recuperación del esmalte y reutilizarlo.
- Identificación de áreas involucradas en la no recuperación del esmalte

Los resultados de las evaluaciones en cada punto anotado se encuentran en la sección 3.1.

2.2 CAMBIOS EN LOS PROGRAMAS DE PRODUCCIÓN Y PRUEBAS EN LAS ÁREAS INVOLUCRADAS, PARA MINIMIZAR LA CONTAMINACIÓN EN EL TONO DEL ESMALTE

Realizado el análisis de la situación actual de los esmaltes contaminados, el principal problema para que la empresa no reutilice el esmalte, es la variación del tono respecto a los estándares en control de calidad, siendo, además del área de esmaltación, también otras áreas involucradas en la contaminación del tono: en la Programación del control de producción (PCP) y en la Fabricación de esmaltes.

2.2.1 MINIMIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL TONO EN EL ÁREA DE PROGRAMACIÓN DEL CONTROL DE PRODUCCIÓN (PCP).

La minimización, son operaciones orientadas a tomar medidas tanto organizativas como operativas para la disminución de pérdidas, no requieren de grandes cambios, muchas veces, simples cambios ocasionan grandes resultados (Acebedo, 2008).

2.2.1.1 De colores fuertes.

Para disminuir la contaminación a partir de PCP en los colores fuertes, se realizó un estudio de la influencia en el tono de un esmalte color fuerte estándar, al mezclarlo con un porcentaje en peso seco menor de esmalte estándar de otro color fuerte llamado contaminante. Por ejemplo si estudiamos al esmalte Azul Mediterráneo (AM), este esmalte de color estándar, lo mezclamos con un porcentaje en peso seco de los demás esmaltes de colores fuertes y se analiza la diferencia de color que presenta en cada caso con respecto al estándar, y así mismo se procede con los otros esmaltes de colores fuertes. Se trabajó con el 15 % en peso seco de esmalte contaminante.

Los esmaltes a ser estudiados en colores fuertes son: Azul Cobalto (AO), Azul Mediterráneo (AM), Merlot (AM), Mora (MO), Negro (NE) y Verde Ciprés (CI), que son aplicados en la cabina 6 y se sigue la siguiente metodología.

1. Preparación del esmalte de color estándar para el estudio

El esmalte de color estándar a ser contaminado para todos los colores se tomó de los Bach que han sido aprobados para enviar a producción en una cantidad de 1000 cm³. Para la toma de este volumen, se sigue el método utilizado en el laboratorio de la fábrica presentado a continuación, que tiene como fin obtener una medida exacta de éste, ya que al tomar el volumen de forma volumétrica con ayuda de una probeta u otro instrumento de

medida, el esmalte es propenso a quedarse adherido en las paredes del recipiente como producto de su viscosidad, y que puede presentar errores en la evaluación final. El método sigue los siguientes pasos:

- a) En un picnómetro de 200 gramos de peso, previamente tarado se coloca el esmalte en una balanza OAUS Adventure que nos da el reporte de la densidad en (g húmedos esmalte/cm³). En la figura 2.2 se presenta la balanza y el picnómetro utilizado.



Figura 2.2. Picnómetro y balanza OAUS Adventure utilizados para la medición de la densidad del esmalte

- b) Con esta densidad medida, y por medio de tablas del factor de corrección de la densidad, obtenemos el valor numérico del factor de corrección en (g secos esmalte/cm³).
- c) Con el factor de corrección de la densidad se calcula el peso seco del esmalte con la siguiente ecuación:

$$\text{Peso seco esmalte estándar} = \text{Factor de corrección} * \text{volumen} \quad [2.1]$$

Donde:

volumen = volumen de la muestra, en este caso 1000 cm³

- d) Este peso seco calculado, pesamos en un recipiente seco y tarado en la balanza y se obtiene un valor real del esmalte estándar para el estudio.

2. Adición del esmalte contaminante.

El esmalte contaminante para realizar el estudio para todos los colores se toma de los Bach que han sido aprobados para enviar a producción, y se procede de la siguiente manera:

- a) Se calcula el peso seco del esmalte contaminante que se debe añadir al estándar por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Peso seco de esmalte contaminante} = \% \text{ definido} * \text{peso seco esmalte estándar} \quad [2.2]$$

Donde:

$$\% \text{ definido} = 15 / 100$$

- b) Este peso calculado es añadido en el recipiente del esmalte estándar, con el control de la balanza.
- c) Se lleva la mezcla de esmaltes a un agitador y se mezcla bien. En la figura 2.3 se presenta el agitador utilizado.



Figura 2.3. Agitador utilizado para mezclar esmalte de pruebas a escala de laboratorio.

- d) Se procede a esmaltar en dos placas patrón denominadas (P1 y P2), por la técnica de pulverización a nivel de laboratorio. En la figura 2.4 se presenta la cabina utilizada a nivel de laboratorio. La cantidad de esmalte que se debe depositar en las placas es controlado por medio de una balanza, hasta 18 gramos, en la cual primero pesamos la placa sin esmaltar y se tara, se aplica el esmalte en la placa por medio de 6 pasadas verticales y 6 horizontales y se pesa. Si no ha cumplido con el peso se vuelve a aplicar nuevamente el esmalte de forma vertical y horizontal hasta obtener el peso requerido con un rango de ± 2 gramos de error.



Figura 2.4. Cabina para la aplicación del esmalte a nivel laboratorio

- e) Se envía a quema en el horno túnel con el ciclo de horas de producción.
- f) Salidas las placas del horno túnel, se realiza la medición de los parámetros colorimétricos CIEL*a*b*, utilizando el colorímetro MINOLTA y se cuantifica la diferencia de color mediante la siguiente ecuación.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad [2.3]$$

Donde:

$$\Delta L^* = L \text{ estándar} - L \text{ medido}$$

$$\Delta a^* = a \text{ estándar} - a \text{ medido}$$

$$\Delta b^* = b \text{ estándar} - b \text{ medido}$$

Las coordenadas estándar de todos los colores de esmalte de producción y sus rangos de tolerancia permitidos se encuentran en el ANEXO I.



Figura 2.5. Colorímetro marca MINOLTA utilizado para la medición de los parámetros de color en el espacio CIEL*a*b*

- g) Se realiza la evaluación visual de las placas mediante norma ASTM 1729, escogiendo un determinado iluminante, principalmente se estudiará bajo una luz fluorescente del laboratorio.
- h) Los resultados evaluados se presentan en las tablas 3.6 a la 3.11.

Con estos resultados presentados en las tablas 3.6 hasta la 3.11 se realizan diagramas de cómo deben ir dispuestos los colores en el diseño del Programa de Control de la Producción (PCP) semanal, para lo cual se definió una escala para los resultados de ΔE^* .

La escala propuesta se definió de acuerdo a los siguientes puntos:

- El diseño del PCP semanal, se configura principalmente en función de la demanda del mercado y éste es muy variable, por lo que debe existir

flexibilidad en la aplicación de todas las indicaciones, es decir no debe ser muy rigurosa, pero que se obtengan buenos resultados.

- Es imposible obtener un esmalte sin contaminación en el tono, debido al sistema de aplicación de colores diferentes en cada turno, que se mantiene por la calidad del producto final exigida por la fábrica.
- Las nuevas indicaciones para diseñar el PCP semanal, tienen por objetivo obtener en la recolección final, un esmalte contaminado que no varíe mucho sus coordenadas respecto al estándar al que se requiera llegar, o sea minimizar la contaminación, ésto es importante para realizar un formulario de ajuste del tono que se mantenga todo el tiempo.

Con estos puntos descritos y especialmente el último, se impone una escala, para que exista un mayor rango de posibilidades para diseñar un PCP semanal y tenga permita una amplia aplicación. En la tabla 2.1 se presenta la escala propuesta.

Tabla 2.1. Escala propuesta para obtener un diseño del Programa de Control de la Producción (PCP) semanal.

Escala de ΔE^*	Observación para diseñar la configuración PCP semanal
< 7	Los colores tienen una buena afinidad entre ellos, por lo tanto se pueden mezclar en el proceso de esmaltación
>7	Existe restricciones para el diseño ya que no tienen una buena afinidad, no se debe mezclarlos con los esmaltes que tengan esta escala

Se quiere decir con “afinidad”, que los colores presentan una desviación pequeña de sus coordenadas colorimétricas respecto al inicio antes de ser contaminado premeditadamente con el 15 % de otro color. Con esta escala se diseñó diagramas que se deben seguir para configurar el diseño del (PCP) semanal, estos se presentan en la sección 3.2.1.1 del capítulo 3 y corresponden a las figuras 3.1 a la 3.6.

2.2.1.2 De colores pasteles.

En la programación de estos colores no se realizaron cambios. Se continúa con el mismo sistema de PCP que tiene la empresa, debido a que existe un mayor control en estos esmaltes, debido principalmente a la flexibilidad que existe en la producción, como se indicó en la revisión de la situación actual.

2.2.2 MINIMIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL TONO EN EL ÁREA DE FABRICACIÓN DE ESMALTES.

Según la revisión de la situación actual realizada, se genera contaminación por la forma de configurar las pruebas de aprobación de bach sin un debido control, por lo que se realizó propuestas que indiquen como deben ir configuradas las pruebas semanales, para disminuir la contaminación en el tono entre los esmaltes.

2.2.2.1 En colores fuertes.

Para realizar los programas para las pruebas de bach se ha propuesto al igual que en el área de PCP, una escala para trabajar con los resultados de ΔE^* obtenidos en las tablas 3.6 hasta la 3.11, definidos por los siguientes puntos.

- Cada bach aprobado sirve para esmaltar un promedio de tres turnos, por lo que no requiere de tantas pruebas a la semana para la producción de un color específico.
- Existe más flexibilidad que en la PCP, para ubicar las pruebas de los esmaltes, pues al día se esmaltan tres turnos de diferentes colores.

Con estos puntos descritos se impone una escala, para un mayor control en la contaminación que el señalado en la PCP.

Tabla 2.2. Escala propuesta para realizar indicaciones que contribuyan a disminuir la contaminación en el tono al realizar las pruebas de aprobación de Bach.

Escala de ΔE^* sugerida	Observación para diseñar la configuración de pruebas para la aprobación de Bach
< 4	Se pueden realizar pruebas
> 4	No se pueden realizar pruebas

Con esta escala se realizaron disposiciones para definir que pruebas se pueden o no realizar en un turno de determinado color. Estas nuevas disposiciones se encuentran presentadas en el capítulo 3 y corresponden a las figura 3.7 a la 3.12.

2.2.2.2 En colores pasteles.

Cómo se indicó en la revisión actual, en los colores pasteles no se realizan pruebas de Bach para la aprobación, manteniendo la estructura actual de diseño de pruebas, que consiste en la aplicación del esmalte en tres tipos de placas, y por la cantidad muy pequeña de volumen se lo realiza en una cabina a nivel laboratorio, presentada en la figura 2.4. El tipo de placas empleadas se describen a continuación y en la figura 2.6 se muestran dichas placas.

- Placa Patrón.- Esta placa evalúa: la superficie del esmalte aplicado, el color, el brillo y la presencia de manchas.
- a) Placa T.- Esta placa tiene la forma de una T, identifica la inclinación, (deformación) que produce el esmalte en el cuerpo aplicado.
- b) Placa Piramidal.- Identifica el escurrimiento y lavado del esmalte en los bordes y superficie en general.



Figura 2.6. Tipos de placas utilizadas para la aprobación de un Bach en colores pasteles

2.3 CLASIFICACIÓN Y RECOLECCIÓN DE LOS ESMALTES CONTAMINADOS

Se clasificó y recolectó los esmaltes en función de la disminución en la contaminación en el proceso de esmaltación, esto implica un buen uso de los resultados anteriores, especialmente debido a la influencia entre tonos de los esmaltes.

2.3.1 DE COLORES FUERTES.

2.3.1.1 Clasificación y recolección del esmalte contaminado procedente de las paredes de la cabina.

Primero se elaboraron tablas de clasificación del esmalte en base a: las disposiciones diseñadas en el control de la Producción (PCP) y las disposiciones para la realización de las pruebas de aprobación de un bach.

Las tablas elaboradas se presentan en la sección 3.3.1.1, en las tablas de 3.12 a la 3.17.

Para la recolección del esmalte clasificado se requirió de algunas herramientas, que en algunos casos se las implementó y en otros se utilizó las ya existentes, a continuación se detalla cada una de ellas.

- **Sitio de recolección.** Se implementó en el área de materia prima un lugar para recolectar el esmalte. En la figura 2.7 se observa el sitio de recolección que se adecuó para ello, y en el ANEXO II se encuentra la ubicación dentro del plano de la planta.



Figura 2.7. Sitio seleccionado para la recolección de esmaltes contaminados.

- **Materiales de limpieza.** Se mantienen los mismos materiales de limpieza espátulas y fibra mórtimer. En la figura 2.8 se presentan los instrumentos utilizados.



Figura 2.8. Instrumentos de limpieza utilizados para recolectar el esmalte de las paredes de la cabina

- **Coches de recolección y transporte:** se mantienen los mismos coches utilizados en la recolección en las cabinas, pero se hace un énfasis en la limpieza. En la figura 2.9 se presentan los instrumentos utilizados.



Figura 2.9. Coches utilizados para transportar el esmalte recolectado en colores fuertes de las paredes de la cabina.

- **Recipientes de almacenamiento:** se instaló siete recipientes de recolección con sus respectivas identificaciones, seis para cada color fuerte y uno para el esmalte contaminado en colores fuertes. Estos recipientes constan de un costal de 1000 kilos de capacidad, colocados

sobre palets de madera con soporte de metal y tapas como se observa en la figura 2.10.



Figura 2.10. Recipientes instalados para la recolección de esmaltes de colores fuertes procedentes de las paredes de la cabina.

Se realizó una evaluación de la cantidad de esmalte recolectado durante un mes para obtener un promedio, el cual se presenta en la tabla 3.18 del capítulo 3, sección 3.3.2.1.

El peso seco de cada fracción de pérdida del esmalte se calculó a partir de los promedios de porcentaje de sólidos obtenidos en la “evaluación y disminución de pérdidas en el proceso de preparación y aplicación de esmalte” realizado en la empresa en un estudio de tesis anterior a este proyecto. De aquí se obtienen promedios de 89,15 % de sólidos presentes en el esmalte recolectado de las paredes, 66,91 % de las purgas y 66,57 % de la bandeja (Acevedo, 2008), para calcular el peso seco se multiplica este porcentaje por el peso de esmalte recolectado.

2.3.1.2 Clasificación y recolección del esmalte contaminado proveniente de las purgas de la bomba.

La clasificación del esmalte proveniente de las purgas se lo realizó por color y la recolección se lo realizó al inicio de cada turno de esmaltación. Para recolectar las purgas del esmalte se requiere de los siguientes instrumentos:

- **Recipiente de recolección**, se utilizó un recipiente metálico de 10 litros de capacidad para recoger el esmalte procedente de la bomba y llevar hacia el almacenamiento.
- **Recipientes de almacenamiento**, Se asignó recipientes que se los colocó en el sitio de recolección para cada color de esmalte, tienen una capacidad de 100 litros y constan con su respectiva identificación. La figura 2.11 muestra los recipientes implementados.



Figura 2.11. Recipientes implementados para la recolección de esmalte contaminado por color proveniente, de las purgas de colores fuertes.

El proceso de clasificación y recolección que se realizó para los esmaltes provenientes de las purgas es simple y no necesita diseñar tablas para clasificar y recolectar como se lo hizo con los esmaltes provenientes de las paredes de la cabina. Se realizó una evaluación de la cantidad de esmalte recolectado durante un mes para obtener un promedio, el cual se presenta en la tabla 3.19 del capítulo 3.

2.3.1.3 Clasificación y recolección del esmalte contaminado en colores fuertes proveniente de la bandeja posterior.

En base a la revisión de la situación actual de este esmalte de colores fuertes analizada en la sección 3.1 del capítulo 3, este esmalte no se clasificó de acuerdo al color, se lo recolecta como se encuentra ya que la contaminación es muy pronunciada y la recolección del esmalte es realizada cada 15 días por motivos de operación programada de la empresa.

Esta clasificación y recolección requirió de los siguientes implementos:

- **Bomba de succión**, este equipo recolecta el esmalte que se ha depositado de forma líquida en la bandeja posterior de la cabina. La sección de esmaltación dispone de esta bomba para colores fuertes y pasteles por separado.
- **Recipientes para transporte y almacenamiento**, Se dispone de tachos con capacidad de 400 y 200 litros que recolecta, transporta al sitio de recolección, y almacena temporalmente el esmalte, para darle un tratamiento posterior. La figura 2.12 muestra los recipientes utilizados para la recolección, transporte y almacenamiento temporal.



Figura 2.12. Recipientes utilizados para la recolección del esmalte contaminado procedente de la bandeja posterior de la cabina para colores fuertes.

El proceso de clasificación y recolección que se realizó para este tipo de esmalte es simple al igual que las purgas, no se necesita diseñar tablas para clasificar y recolectarlo. Se realizó una evaluación de la cantidad de esmalte recolectado durante un mes para obtener un promedio, el cual se presenta en la tabla 3.20 en la sección 3.3.2.1.

2.3.2 DE COLORES PASTELES.

Como se observó en la revisión de la situación actual, este esmalte es recuperado solamente en algunas ocasiones.

2.3.2.1 Clasificación y recolección del esmalte contaminado de las paredes de la cabina.

Para clasificar este esmalte, se sigue el mismo método utilizado hasta hoy en la fábrica, pero la recolección y destino son cambiados de modo que todo el esmalte recolectado que se encuentra contaminado en el tono, se reutilizará.

El esmalte contaminado de las paredes de la cabina, se recolectó de la misma manera que el esmalte de paredes para colores fuertes y es almacenado en el sitio de reciclaje hasta su recuperación. Los instrumentos necesarios son de las mismas descripciones a los utilizados para recolectar en los colores fuertes. La cantidad de esmalte contaminado que se recolectó durante un mes se encuentra en la tabla 3.21 en la sección 3.3.2.2.

2.3.2.2 Clasificación y recolección del esmalte contaminado proveniente de las purgas de la bomba.

Como se verificó en la revisión de la situación inicial, este esmalte es recuperado, pero existe casos en que la contaminación del tono es inevitable y no se recupera. Este esmalte por su poca cantidad no se clasificó por color para recuperarlo al

color original, se lo recolectó en un solo recipiente implementado en el área de reciclaje para todos los colores pasteles como se muestra en la figura 2.13. En la tabla 3.22 del capítulo 3 se encuentra la cuantificación de este tipo de esmalte recolectado durante un mes de producción.



Figura 2.13. Recipiente utilizado para la recolección del esmalte contaminado procedente de las purgas de los colores pasteles.

2.3.2.3 Esmalte contaminado proveniente de la bandeja posterior de la cabina.

Se mantiene el mismo procedimiento de recolección del esmalte de la bandeja posterior que se realiza en los colores fuertes y se lo realiza cada 15 días, el único cambio es, que se realiza en el sitio que ahora es unificado para todos los esmaltes de purgas, bandeja y paredes de la cabina, pero con sus respectivas identificaciones.

Se cuantificó el esmalte de esta fracción de pérdida durante un mes de producción normal y sus resultados se presentan en la tabla 3.23.



Figura 2.14. Recipiente utilizado para la recolección del esmalte contaminado procedente de la bandeja posterior de las cabinas.

2.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS ESMALTES EN BASE DE HUMEDAD Y COLOR

2.4.1 MEDIDA DE LA HUMEDAD

La humedad se midió con una balanza de humedad MOISTURE BALANCE MOC – 120H mostrada en la figura 2.15, que reporta directamente la humedad y se cuantifica a partir de ésta, el porcentaje de sólidos, que se lo calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\% \text{ sólidos} = 100\% - \% \text{ humedad medido} \quad [2.4]$$

Se realiza un promedio matemático de la humedad del esmalte recolectado mediante la ecuación.

$$\bar{h} = \frac{\sum h}{n} \quad [2.5]$$

Donde:

\bar{h} = Promedio de la humedad (media)

h = valor de cada una de las mediciones de la humedad.

n = numero de medidas realizadas



Figura 2.15. Balanza de humedad MOISTURE BALANCE MOC – 120H

2.4.2 MEDIDA DEL COLOR

Se mide por separado de los diferentes esmaltes recuperados de paredes, purgas y de la bandeja posterior de la cabina.

2.4.2.1 Medida del color del esmalte recolectado en las paredes

La gran cantidad de esmalte que se ha recuperado en las paredes como se muestra en la tabla 3.18 y la necesidad de obtener resultados que indiquen la realidad en una escala industrial, además de una evaluación real de las indicaciones aplicadas en la minimización, permitió hacer las pruebas en volúmenes similares (entre los 300 y 350 litros) para la fabricación de bach, que se encuentran en recipientes de 400 litros de capacidad. En la figura 2.16 se presenta el tipo de recipiente y el agitador utilizado para su preparación.



Figura 2.16. Recipiente de 400 litros y agitador utilizado para la preparación del esmalte procedente de las paredes de la cabina.

La preparación de las cargas para medir el color de los esmaltes procedentes de las cabinas se realizó de acuerdo a la siguiente metodología.

- a) Se toma un recipiente de 400 litros de capacidad y se coloca 100 litros de agua. El tipo de recipiente utilizado se presenta en la figura 2.16.
- b) Se coloca un agitador móvil SILVERSON, a una alta velocidad alrededor de 40 Hz, esto con el fin de obtener una buena dispersión del esmalte y evitar los grumos en el esmalte. El agitador utilizado se indica en la figura 2.16.
- c) Se añade la cantidad suficiente de esmalte recolectado de las paredes y simultáneamente medimos la densidad con el picnómetro, en la figura 2.2 se presenta el picnómetro utilizado, hasta obtener un rango de densidad de $(1,74 - 1,75) \text{ g/cm}^3$ para colores fuertes y de $(1,84 - 1,85)$ para colores pasteles.
- d) Pasamos el esmalte preparado por los imanes y zaranda de malla # 120, estos se arman en conjunto con una bomba. Los imanes retienen el hierro presente en el esmalte que puede provocar manchas en la superficie después de la quema y la zaranda retiene las impurezas de los instrumentos utilizados en la limpieza y otros. Estos se aprecian en la figura 2.17.



Figura 2.17. Instrumentos utilizados para limpiar el esmalte de hierro e impurezas.

- e) Pasado el esmalte por la zaranda e imanes, se ajusta con agua la densidad en el rango sugerido, a condiciones de producción, de $(1,715 - 1,725)$ g/cm^3 para colores fuertes y de $(1,815 - 1,825)$ g/cm^3 para colores pasteles.
- f) Se mide la viscosidad de escurrimiento instantánea (VEI), con una copa Ford, ver figura 2.18, y ajustamos la viscosidad a los parámetros establecidos mediante la adición de aditivos reológicos según lo requerido, hasta obtener una viscosidad en un rango entre $(27 - 29)$ segundos para colores fuertes y pasteles respectivamente.



Figura 2.18. Copa FORD utilizada para medir la viscosidad de escurrimiento instantáneo (VEI) en unidad de tiempo.

- g) Ajustados los parámetros de viscosidad y densidad, se esmaltan placas por la técnica de pulverización, dos placas patrón y se las envía al horno túnel para ser quemadas.
- h) A las placas obtenidas, se miden las coordenadas colorimétricas en el espacio de color CIE $L^* a^* b^*$ con un colorímetro marca MINOLTA y la cuantificación de la diferencia de color se realiza con la ecuación [2,3]

Los resultados se presentan en la tabla 3,25 de la sección 3.4.1 para colores fuertes.

2.4.2.2 Medida del color del esmalte en colores fuertes recolectado en las purgas y de la bandeja posterior.

La cantidad de esmalte recolectado en cada turno de estas fracciones de pérdida es evaluada en las tablas 3.19 y 3.20, y es pequeña en comparación con las pérdidas en las paredes. Tomando en cuenta esto se sigue la siguiente metodología para cada fracción.

- a) La purga recolectada en la cabina, se procede a agitarla como se aprecia en la figura 2.19.



Figura 2.19. Agitación de las purgas recolectadas en la cabina.

- b) Se toman 2000 cm^3 de esmalte en un recipiente metálico y se los coloca en una estufa a $110 \text{ }^\circ\text{C}$ por una hora.
- c) Así se consigue una muestra relativamente seca, ésto se realiza por el bajo porcentaje de sólidos de las purgas.
- d) En un recipiente se coloca una cantidad de 1000 cm^3 de agua y se va añadiendo poco a poco el esmalte obtenido de la estufa, hasta tener una densidad de $(1,715 - 1,725) \text{ g/cm}^3$ para colores fuertes y de $(1,815 - 1,825) \text{ g/cm}^3$ para colores pasteles.
- e) Se pasa el esmalte por una malla # 120, para eliminar impurezas de fibras u otros elementos y se sumerge mediante un movimiento circular una barra de imán para eliminar impurezas de hierro.
- f) El esmalte obtenido es aplicado por la técnica de pulverización en dos placas patrón y se envía a un horno túnel continuo para ser quemadas.
- g) En las placas obtenidas se miden los parámetros de color en el espacio de CIE $L^*a^*b^*$ con el colorímetro MINOLTA y la cuantificación de la diferencia de color se realiza con la ecuación 2.3.

Los resultados se presentan en la tabla 3,26 para colores fuertes y en la tabla 3.29 para colores pasteles, con sus respectivas interpretaciones.

- h) Para la preparación del esmalte de la bandeja posterior para la prueba se sigue la misma metodología descrita para el esmalte de las purgas, pero con el cambio en el literal a). Por su alto volumen respecto a las purgas, se agita en el agitador SILVERSON.

Los resultados se presenta en la tabla 3,27 para colores fuertes y 3.30 para colores pasteles respectivamente.

2.5 REUTILIZACIÓN DE LOS ESMALTES RECOLECTADOS PARA PRODUCIR ESMALTES CON COLORES DE PRODUCCIÓN.

2.5.1 RECUPERACIÓN DE ESMALTES CONTAMINADOS QUE PRESENTAN UNA BAJA CONTAMINACIÓN EN EL TONO.

A este tipo de esmaltes pertenecen los esmaltes de colores fuertes recolectados de las paredes de la cabina y las purgas.

Para el estudio de recuperación de estos esmaltes para colores fuertes, es necesaria la información de los estándares de producción en la fábrica.

Tabla 2.3. Coordenadas colorimétricas estándares para la producción de esmaltes de colores fuertes en la empresa F.V.

Color	coordenadas colorimétricas estándar*		
	L*	a*	b*
Azul mediterráneo	21,20	0,58	-5,57
Merlot	26,24	10,62	3,27
Mora	39,75	18,40	6,94
Negro	20,70	0,16	1,14
Verde Ciprés	27,43	-9,40	-4,32

*Fuente: Laboratorio de cerámica en F.V.

Al presentar los esmaltes de las purgas una humedad alta (porcentaje bajo de sólidos) con respecto al estándar de producción, se mezcla con los esmaltes de las paredes de la cabina que presentan en contraparte una humedad muy baja (porcentaje alto de sólidos), respecto al estándar, y se procede a la recuperación conjunta de estos dos tipos de esmaltes con la siguiente metodología.

- a) En un tarro de 400 litros de capacidad se coloca 100 litros de agua.
- b) Luego se añade las purgas de esmalte recolectada del mismo color.
- c) Se coloca el recipiente en el agitador móvil SILVERSON a una determinada velocidad y se añade poco a poco el esmalte recolectado de las paredes, hasta obtener en el esmalte una densidad en el rango de $(1,74 - 1,75) \text{ g/cm}^3$.
- d) El esmalte preparado se lo hace pasar por imanes y zaranda de malla # 120, para eliminar el hierro e impurezas presentes en el esmalte.
- e) Se ajusta las propiedades del esmalte a condiciones de esmaltación, la densidad a un rango $(1,715 - 1,725) \text{ g/cm}^3$ y la viscosidad de escurrimiento cinemática (VEI) a un rango de $(24 - 28)$ segundos, con agua y aditivos reológicos respectivamente.
- f) Se esmaltan 2 placas patrón por la técnica de pulverización y se envían al horno túnel.
- g) Salidas las placas del horno túnel se procede a medir los parámetros de color CIE $L^*a^*b^*$ y se calcula la diferencia de color ΔE^* .
- h) Con estos resultados se identificó qué o cuál o cuáles coordenadas son las que mayor desviación presentan respecto al estándar. Al mismo tiempo se realizó una evaluación visual mediante norma estándar ASTM – D – 1729.
- i) Identificada(s) la(s) coordenada(s) con mayor desviación se procede a ajustarla(s) hasta que llegue al estándar deseado, por medio de pruebas con adición de esmaltes y pigmentos con los que cuenta la empresa. Se mide las coordenadas colorimétricas finales, se realiza las observaciones visuales con la norma ASTM – D – 1729, y se

evalúa respecto al tono estándar que se quiere recuperar y con los resultados óptimos se realiza un formulario de ajuste.

- j) Ajustadas las coordenadas con respecto al tono estándar, se somete el esmalte a pruebas de dilatación térmica utilizando un dilatómetro ORTON MODEL 1600 D como el de la figura 2.20.



Figura 2.20. Dilatómetro ORTON MODEL 1600 D.

Se compara y evalúa los coeficientes promedios de expansión (ACE) del cuerpo cerámico con el esmalte de acuerdo a normas de la empresa.

- k) Se envía el esmalte a las pruebas para la aprobación de un bach, en éstas el Control de Calidad realiza una verificación final del producto.
- l) Este producto se sometió a pruebas de ataque químico Acido-Base y absorción de agua, mediante normas utilizadas en la empresa ASTM C - 373 y norma ASTM C – 650 respectivamente.
- m) Aprobadas todas estas pruebas se aprobó el formulario de ajuste para cada color de esmalte recuperado y todos los casos posibles presentados.
- n) Se realiza un monitoreo que comprende la utilización del formulario realizado para los casos posibles, dentro de los meses de

producción con materia prima recuperada y el registro del nuevo formulario en laboratorio para la entrega del proyecto culminado.

- o) Finalmente se realizó una cuantificación de materia prima recolectada que se envió a producción cumpliendo todos los parámetros requeridos y una comparación del consumo de materia prima virgen y recuperada en los meses que se aplica el proyecto para cada color.

Los resultados de toda esta metodología se reporta en la sección 3.5 del capítulo 3.

2.5.2 RECUPERACIÓN DE ESMALTES QUE PRESENTAN UNA ALTA CONTAMINACIÓN EN EL TONO.

A este tipo pertenece un grupo de esmaltes recolectados de las paredes de la cabina en colores fuertes y pasteles, la totalidad del esmalte recolectado de la bandeja posterior de la cabina en colores fuertes y pasteles, y las purgas de los colores pasteles.

2.5.2.1 De colores fuertes

Para recuperar este esmalte recolectado se recogió en conjunto, el esmalte de la bandeja posterior de la cabina con el esmalte recolectado de las paredes, evitando con esto el problema del bajo porcentaje de sólidos en el esmalte de la bandeja, y se siguió la siguiente metodología.

- a) En un tarro de 400 litros se coloca el esmalte recolectado de la bandeja posterior de la cabina hasta alcanzar los 200 litros.
- b) Se coloca el recipiente en el agitador móvil SILVERSON y se añade poco a poco el esmalte recolectado de las paredes, hasta obtener en el esmalte una densidad en un rango de (1,73 - 1,74) g/cm³.

- c) El esmalte preparado se lo hace pasar por imán y zaranda de malla # 120, para eliminar el hierro e impurezas presentes en el esmalte.
- d) Se ajusta las propiedades reológicas del esmalte a condiciones de esmaltación: la densidad en un rango de $(1,715 - 1,725) \text{ g/cm}^3$ y la viscosidad de escurrimiento cinemática (VEI) a un rango de $(24 - 26)$ segundos, con agua y aditivos reológicos respectivamente.
- e) Se esmaltan 2 placas patrón por la técnica de pulverización y se envían al horno túnel.
- f) Salidas las placas del horno túnel, se procede a medir las coordenadas colorimétricas en el espacio de color CIEL*a*b*, utilizando el colorímetro MINOLTA.
- g) Se compara las coordenadas medidas con respecto a todos los estándares de producción. Y se realiza una evaluación visual mediante norma estándar ASTM – D – 1729.
- h) A este esmalte se sometió a un análisis para ver a qué color se lo puede recuperar. Para tomar esta decisión, se ayudó de dos factores importantes como: el color de mayor demanda en el mercado y el más fácil de recuperar, siendo el escogido el esmalte color Azul Mediterráneo por cumplir con los mencionados factores.
- i) Los resultados de las coordenadas colorimétricas se comparan con el estándar del esmalte color Azul Mediterráneo, para identificar las coordenadas de mayor desviación.
- j) Identificada(s) la(s) coordenada(s) con mayor desviación, se procede a ajustarla(s) hasta que lleguen al estándar del esmalte Azul Mediterráneo deseado, por medio de pruebas con adición de esmaltes y pigmentos con los que cuenta la empresa, se realiza observaciones visuales con la norma antes mencionada y las mediciones de las coordenadas colorimétricas CIEL*a*b*.
- k) Ajustadas las coordenadas con respecto al estándar se sigue los mismos pasos descritos en los literales desde el j) hasta el o) presentados en la sección 2.5.1 de este capítulo. Los resultados se encuentra en la sección 3.5 del capítulo 3.

2.5.2.2 De colores pasteles

Se ha tomado como ayuda de estudio, las coordenadas estándares de los pigmentos y esmaltes de producción que se encuentran en el laboratorio de F.V.

Los colores pasteles de producción tienen una colorimetría estándar que se utiliza en el Laboratorio de F.V., que se presentan a continuación.

Tabla 2.4. Coordenadas estándares de los colores pasteles de producción.

Color de producción	Coordenadas estándar		
	L*	a*	b*
Blanco	90,64	-0,69	2,69
Bone	85,01	0,60	1,08
Azul cielo	75,72	1,27	-10,74
Verde Primavera	84,12	-7,92	3,40
Gris	76,38	0,70	1,21
Caribbean Shell	82,22	4,69	7,50
Arena	67,83	5,88	15,74

Fuente: Laboratorio de cerámica en F.V.

Los pigmentos cerámicos utilizados en la planta industrial F.V. son revisados en laboratorio para cumplir con los parámetros de calidad exigidos. La colorimetría es uno de los principales factores a controlar, para lo cual el Laboratorio de F.V tiene los siguientes estándares colorimétricos que se deben cumplir.

Tabla 2.5. Coordenadas colorimétricas estándares de los pigmentos utilizados en la fabricación de esmaltes coloreados, sobre la base cerámica utilizada.

pigmento	coordenadas colorimétricas		
	L*	a*	b*
Amarillo	78,44	-10,63	52,94
Coral	70,37	13,01	11,92
Gris manhattan	70,33	-0,48	2,42
Gris Pizarra	62,56	-1,05	-3,24
Turquesa	73,03	-6,68	-17,32
Azul Cerdec	45,35	8,50	-25,13
Crimson	32,14	21,28	8,53
Mazarine	20,16	2,13	-3,51
Verde Ciprés	27,77	-10,13	-5,93
Negro intenso	21,28	-0,39	0,40

Fuente: Laboratorio de cerámica en F.V

Para recuperar este esmalte recolectado de colores pasteles se sigue la metodología utilizada para colores fuertes, señalada en la sección 2.5.2.1 debiendo ser diferentes el ajuste de los parámetros de densidad, siendo el rango de $(1,82 - 1,83) \text{ g/cm}^3$ al inicio y $(1,795 - 1,805) \text{ g/cm}^3$ al final; la viscosidad entre $(27 - 28)$ segundos, y donde el color a recuperar es el Gris.

Los resultados se encuentran en la sección 3.5 del capítulo 3.

2.6 ANÁLISIS FINANCIERA DEL PROYECTO

2.6.1 COSTOS DE LA MATERIA PRIMA RECOLECTADA Y RECUPERADA

Para evaluar económicamente el proyecto, primero se realizó el cálculo del valor de la materia prima reutilizada en un periodo de cinco meses, periodo en que se han tomado datos reales de esmalte que se recuperó y que se envió a producción. Los resultados se presentan en la tabla 3,48 del capítulo 3. Los cálculos se encuentran en el ANEXO VI.

2.6.2 COSTOS DE PRODUCCIÓN PARA REUTILIZAR EL ESMALTE RECOLECTADO.

Los costos necesarios para la recuperación del esmalte, incluyen varios costos fijos y variables, que en este caso no se evalúan porque se utilizará la misma mano de obra existente y no requiere de personal extra, pues sólo se está fabricando el mismo producto con materia prima reutilizable y con procesos similares a los de fabricación con materia prima virgen, además que esta fabricación ya no requiere de procesos complejos como la molienda, que puede ser compensada en el ajuste del tono.

El costo de ajuste del tono es muy variable, pues como se observa en los formularios para ajustar el tono de diferentes colores, se utiliza esmaltes, y pigmentos en donde estos últimos representan una materia prima extra, por lo

que se evalúa sólo a los que se ajustaron con pigmentos. Esto se realiza obteniendo la relación costo de ajuste/Kilos secos recuperados, presentados para cada color fuerte en el ANEXO VI.

El costo durante cinco meses de la materia prima que se ajustó el tono con pigmento en los colores fuertes, se presenta en la tabla 3,49 de la sección 3.6.2 del capítulo 3.

Con respecto a la recuperación del tono del esmalte gris, es mucho más variable aún en los porcentajes de pigmentos añadidos como presenta la tabla 3.43 y los colores pasteles no representan un gran porcentaje en la recolección respecto a los colores fuertes como indican los resultados de la figura 3.14.

2.6.3 GANANCIA

La ganancia del proyecto se calculará mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Ganancia} = \text{Costo de la materia prima recuperada} - \text{Costos de ajuste} \quad [2.6]$$

2.6.4 INVERSIÓN

Este proyecto invirtió en una máquina mezcladora, que se instaló y se encuentra en funcionamiento. En la figura 2.21 se encuentra la mezcladora que se instaló para el proyecto y el costo de la inversión se presenta en la tabla 2.6.



Figura 2.21. Mezcladora instalada para el proyecto en el área de fabricación de esmaltes.

En el ANEXO II se encuentra la ubicación de instalación en el plano de la fábrica, y las características en el ANEXO VIII.

Tabla 2.6. Costo de la inversión realizada.

Inversiones	Costo (USD)
Fabricación de la mezcladora	29 000
Implementación de la cabina	4 000
TOTAL (USD)	33 000

2.6.5 RETORNO SOBRE LA INVERSIÓN.

El retorno sobre la inversión se determina con la ecuación:

$$\text{Retorno sobre la inversión} = \frac{\text{Ganancia}}{\text{Inversión}} * 100 \quad [2.7]$$

El retorno sobre la inversión se calcula para los 5 meses, también se realizó una predicción del pago de la inversión mediante el promedio mensual de la ganancia.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 REVISIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Tabla 3.1. Numeración de las cabinas de esmaltación de la fábrica de sanitarios F.V., y su distribución para la aplicación de cada color de esmalte.

		Colores de esmaltes aplicados en la fábrica de sanitarios F.V.											
Numeración de las cabinas	Azul Cobalto (AO)*	Azul Mediterráneo(AM)*	Arena (AR)**	Azul Cielo (AC)**	Blanco (BL)**	Bone (BO)**	Caribbean Shell (CS)**	Gris (GR)**	Merlot (ME)*	Mora (MO)*	Negro (NE)*	Verde Ciprés (CI)*	Verde Primavera (VP)**
1					X								
2					X								
3						X							
4			X	X	X		X	X					X
5	Entra en funcionamiento cuando sale otra por mantenimiento u otros motivos.												
6	X	X							X	X	X	X	

*Colores pasteles; **Colores fuertes

La tabla 3.1 muestra, que las cabinas número 1, 2 y 3 sólo tienen un color de aplicación y siempre mantienen esta planificación por la alta demanda de estos colores. En tanto que las cabinas 4 y 6 presentan varios colores de aplicación, usando la cabina 4 para colores pasteles y la cabina 6 para colores fuertes.

Tabla 3.2. Cabinas de esmaltación que reciclan esmalte, color de aplicación en cada una, tiempo y turnos de operación.

Numeración de la cabina	Reciclaje		Color de esmalte reciclado	Contaminación	Días de operación al año*	Horas de operación al día	Turnos al día**	Color aplicado al día
	SI	NO						
1	X		Blanco	NO	360	24 h/día	3	uno
2	X		Blanco	NO	360	24 h/día	3	uno
3	X		Bone	NO	360	24 h/día	3	uno
4	En ocasiones		Varios colores pasteles	SI	360	24 h/día	3	uno o varios
5	Sin operación							
6		X	NO EXISTE	SI	360	24 h/día	3	varios

*Promedio estimado, a fin de año existe una para total de la fábrica

** Turnos de 8 horas.

La tabla 3.2 muestra que, sólo las cabinas 1, 2 y 3 reutilizan el esmalte que se pierde en el proceso de esmaltación, ésto lo hacen porque este esmalte no presenta una contaminación en el tono, pues sólo se esmalta un color en cada cabina. La recolección y aprovechamiento del esmalte residuo del proceso de esmaltación, proviene de las paredes, bandeja posterior y purgas. La cabina número 4, en ocasiones procede a realizar una recuperación de esmalte, para lo que debe cumplir que la programación de la producción sea continua en un solo tipo de color, caso contrario no lo hace por la contaminación presente en el tono. La cabina 6, no reutiliza el esmalte que se pierde en el proceso de esmaltación y pertenece a todos los colores fuertes de producción, y la contaminación en el tono del residuo es muy alta.

También muestra que todas las cabinas tienen tres turnos diarios, donde las cabinas 1, 2, 3 aplican un solo color todo el año por lo que ha hecho factible una reutilización del residuo de esmalte en este proceso. En cambio en las cabinas 4 y 6 se aplican varios colores al día, especialmente en la cabina 6, existiendo una contaminación en el tono, razón por la que no se reutiliza este esmalte.

Tabla 3.3. Tipo de materiales utilizados en la recolección del esmalte de las cabinas de esmaltación.

Tipo de herramienta utilizada para la recolección	Material de la herramienta utilizada	Función que desempeña	Presencia en el esmalte recolectado		Forma en que se presenta	Método para eliminar del esmalte	Tipo equipo disponible para eliminar impurezas
			SI	NO			
Espátula	Acero	Raspa el esmalte depositado en las paredes de la cabina	X		Pequeñas trazas	Retención en imanes y zaranda	Dedos de imán y Zaranda malla # 120
Mórtimer	Plástico	Raspa el esmalte depositado en las paredes de la cabina	X		Pequeñas fibras plásticas de todo tamaño	Retención en zaranda	Zaranda de malla # 120
Coches	Plástico	Transporta el esmalte recolectado de las paredes desde las cabinas hasta los costales		X	_____	_____	_____
Costales	Plástico	Almacena el esmalte recolectado	X		Pequeñas tiras	Retención en zaranda	Zaranda de malla # 120
Baldes	Plástico	Transporta el esmalte recolectado de las purgas		X	_____	_____	_____
Tarros	Plástico	Recolecta el esmalte de las purgas y de la bandeja posterior de las cabinas y en ocasiones los transporta		X	_____	_____	_____

La tabla 3.3 muestra los materiales utilizados para la limpieza, transporte y almacenamiento del esmalte de la cabina que ha quedado en las paredes, en la

bandeja posterior y purgas. La limpieza es realizada por cada operador al terminar su turno, ésto quiere decir que existen 3 limpiezas al día. Los materiales utilizados no presentan riesgo de presencia en el producto final. Mediante el proceso de recuperación se retira todas las trazas presentes, ésto avalado por la recuperación del esmalte que se realiza en las cabinas 1, 2, 3. Demostrando que los materiales utilizados son óptimos.

Tabla 3.4. Procedencia, estado, destino y consecuencias del esmalte contaminado en las cabinas 4 y 6.

Lugar de procedencia del esmalte contaminado en el tono	Estado en el que se encuentra el esmalte contaminado en el tono	Destino final del esmalte	Consecuencia	Observaciones
Paredes de la cabina	Sólido	Se almacena en un galpón colocando en costales de 1000 kilos de capacidad	La capacidad del galpón es limitada y no soporta más carga, este material no se desecha por cuestiones ambientales y el alto costo.	En los costales se almacena esmalte hasta llenar, implicando una mezcla de diferentes colores de esmaltes, existiendo una contaminación grave en el tono. Los esmaltes de la bandeja posterior son recolectados cada 15 días, siendo una mezcla de diferentes colores durante ese tiempo de esmaltado.
Bandeja posterior	Líquido	Se lo lleva al filtro prensa donde el residuo líquido pasa a una piscina de tratamiento y el residuo sólido es almacenado en el galpón, en costales de 1000 kilos o desechado en lodos.	La capacidad del galpón es limitada y no soporta más carga. Aumenta el volumen de tratamiento de aguas y se descarga más contaminación al ambiente.	
Purgas de la bomba	Líquido	Se lo lleva al filtro prensa donde el residuo líquido pasa a una piscina de tratamiento y el residuo sólido es almacenado en el galpón en costales de 1000 kilos o desechado en lodos.	La capacidad del galpón es limitada y no soporta más carga. Aumenta el volumen de tratamiento de aguas y se descarga más contaminación al ambiente.	

La tabla 3.4 presenta un diagnóstico del esmalte que no se recupera y es desechado a diferentes destinos. La contaminación en las paredes de la cabina y las purgas se da en los cambios de turnos y en estos cambios es recolectado para enviarlo a los diferentes destinos mostrados en la tabla 3.4. El esmalte

recolectado de la bandeja es el más contaminado de todos, porque solo existe dos recolecciones del esmalte por mes, cada 15 días, por motivo de que se encuentra en el interior de la cabina y su extracción requiere de tiempo y herramientas pesadas como una bomba de succión, mangueras y palas para despegar el esmalte sedimentado en especial, del fondo de la bandeja.

La contaminación en el tono se da en el proceso de esmaltación, pero también están involucrados otros factores y áreas que se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Resumen del principal problema del esmalte contaminado recolectado de las cabinas 4 y 6, y áreas involucradas.

Motivos de no recuperar el esmalte contaminado	Principal problema en el esmalte contaminado	Otras fuentes para la contaminación en el tono del esmalte.	Otras áreas implicadas	Forma en que se implica el área
Tiempo, planificación	Desfase del tono de los esmaltes contaminados con respecto a los estándares de producción.	Pruebas de aprobación de Bach	Programación del Control de Producción (PCP)	La programación de la producción semanal es realizada por ésta área, coloca los turnos diarios y son de diferente color, obedece a la demanda del mercado y al stock.
		Programación de los turnos de aplicación semanal	Fabricación de esmaltes	Para aprobar un Bach y enviarlo a producción se realiza una prueba de éste en un determinado número de piezas que ocupa un volumen aproximado de 30 litros, estas pruebas se las realiza en cualquier turno de producción sin tomar en cuenta que color se está aplicando, generando una mezcla de colores.

En los colores fuertes existe la aprobación de bach que utiliza un volumen de 30 litros, se aplica en 12 piezas de producción y se lo realiza en las cabinas de esmaltación; mientras en los colores pasteles, las pruebas consisten en tomar 3 litros de esmalte y aplicarlo en 3 tipos de piezas llamadas placas patrón, T y piramidal.

3.2 RESULTADOS DE LA MINIMIZACIÓN EN LA CONTAMINACIÓN DEL TONO DEL ESMALTE EN LAS ÁREAS INVOLUCRADAS.

3.2.1 DE COLORES FUERTES

En las tablas 3.6 hasta la 3.11 se presentan los resultados del estudio de la influencia en el tono, entre los colores fuertes esmaltados en la cabina 6.

Tabla 3.6. Resultados de la diferencia de color ΔE^* al mezclar: Azul Cobalto (AO) con 15% de esmalte color AM, CI, MO, ME y NE.

ESMALTE COLOR AZUL COBALTO (AO)	Coordenadas colorimétricas estándar			Diferencia de color ΔE^*	Promedio ΔE^*	Notable diferencia visual
	L*	a*	b*			
	20,16	4,24	-11,18			
Mezcla	Coordenadas colorimétricas medidas					
AO + AM (P1)	18,96	6,01	-8,57	3,37	3,76	SI
AO + AM (P2)	19,80	4,43	-7,06	4,14		
AO + CI (P1)	20,67	0,98	-5,67	6,42	6,60	SI
AO + CI (P2)	20,67	0,52	-5,55	6,77		
AO + MO (P1)	20,65	6,05	-11,33	1,88	2,14	SI
AO + MO (P2)	20,37	4,80	-8,87	2,39		
AO + ME (P1)	20,46	4,80	-8,92	2,35	2,20	SI
AO + ME (P2)	19,85	5,18	-9,38	2,05		
AO + NE (P1)	19,70	0,31	-1,79	10,19	10,19	SI
AO + NE (P2)	20,21	0,29	-1,79	10,19		

P1 = placa número 1; P2 = placa número 2

Los resultados presentados en la tabla 3.6, indican que el porcentaje de estudio definido para contaminar el esmalte Azul Cobalto estándar con otros esmaltes tienen un ΔE^* mayor que la unidad, y la diferencia visual es notable en todos los casos.

Tabla 3.7. Resultados de la diferencia de color ΔE^* al mezclar: esmalte Azul Mediterráneo (AM) con 15% de esmalte color ME, CI, MO, NE y AO.

ESMALTE COLOR AZUL MEDITERRÁNEO (AM)	Coordenadas colorimétricas estándar			Diferencia de color ΔE^*	Promedio ΔE^*	Notable diferencia visual
	L*	a*	b*			
	21,03	0,42	-5,72			
Mezcla	Coordenadas colorimétricas medidas					
AM + ME (P1)	22,04	-0,11	-4,50	1,67	1,66	SI
AM + ME (P2)	22,03	-0,04	-4,49	1,65		
AM + CI (P1)	22,46	-1,93	-5,30	2,78	2,86	SI
AM + CI (P2)	22,73	-1,95	-5,41	2,93		
AM + MO (P1)	22,20	0,33	-5,79	1,18	1,22	SI
AM + MO (P2)	22,28	0,34	-5,79	1,25		
AM + NE (P1)	20,79	-0,67	-2,04	3,85	3,61	SI
AM + NE (P2)	20,51	-0,31	-2,47	3,37		
AM + AO (P1)	21,59	0,23	-5,25	0,96	0,64	NO
AM + AO (P2)	21,24	0,56	-5,91	0,32		

P1 = placa número 1; P2 = placa número 2

Los resultados presentados en la tabla 3.7, manifiestan que el porcentaje de estudio definido para contaminar el esmalte Azul Mediterráneo estándar con los esmaltes de color ME, CI, MO y NE al 15 %, presentan un ΔE^* mayor que la unidad y diferencias notables visualmente. Mientras que la mezcla con AO presenta un ΔE^* menor que la unidad y no presenta diferencias visuales notables, resultando que este esmalte es el que menos contaminación presenta en el tono, respecto a los demás.

Tabla 3.8. Resultados de la diferencia de color ΔE^* al mezclar: esmalte color Ciprés (CI) con 15% de esmalte color ME, AM, MO, NE y AO.

ESMALTE COLOR CIPRÉS (CI)	Coordenadas colorimétricas estándar			Diferencia de color ΔE^*	Promedio ΔE^*	Notable diferencia visual
	L*	a*	b*			
	27,4	-9,67	-4,51			
Mezcla	Coordenadas colorimétricas medidas					
CI + ME (P1)	25,82	-7,59	-4,25	2,62	2,69	SI
CI + ME (P2)	25,59	-7,62	-4,26	2,75		
CI + AM (P1)	26,27	-7,75	-5,23	2,34	2,56	SI
CI + AM (P2)	25,49	-7,87	-5,44	2,78		
CI + MO (P1)	26,16	-7,56	-3,50	2,65	2,64	SI
CI + MO (P2)	26,01	-7,64	-3,57	2,63		
CI + NE (P1)	23,85	-4,88	-0,83	7,01	6,97	SI
CI + NE (P2)	24,00	-4,87	-0,86	6,92		
CI + AO (P1)	25,27	-7,48	-5,55	3,23	3,33	SI
CI + AO (P2)	25,64	-6,91	-5,55	3,43		

P1 = placa número 1; P2 = placa número 2

Los resultados presentados en la tabla 3.8, indican que el esmalte color Ciprés estándar mezclado con 15% de los esmaltes color ME, AM, MO, NE y AO presentan un ΔE^* mayor que la unidad y existen diferencias notables visualmente.

Tabla 3.9. Resultados de la diferencia de color ΔE^* al mezclar: esmalte Merlot (ME) con 15% de esmalte color CI, AM, MO, NE y AO.

ESMALTE COLOR MERLOT (ME)	Coordenadas colorimétricas estándar			Diferencia de color ΔE^*	Promedio ΔE^*	Notable diferencia visual
	L*	a*	b*			
	26,27	10,74	3,33			
Mezcla	Coordenadas colorimétricas medidas					
ME + CI (P1)	24,31	3,09	0,95	8,25	8,18	SI
ME + CI (P2)	24,89	3,13	0,93	8,10		
ME + AM (P1)	23,92	5,44	0,91	6,28	6,36	SI
ME + AM (P2)	24,15	5,14	0,95	6,44		
ME + MO (P1)	26,55	8,98	3,10	1,80	1,65	SI
ME + MO (P2)	26,44	9,31	2,91	1,50		
ME + NE (P1)	23,13	4,78	1,50	6,98	6,86	SI
ME + NE (P2)	23,77	4,68	1,78	6,74		
ME + AO (P1)	23,72	5,26	1,17	6,42	6,53	SI
ME + AO (P2)	24,32	4,76	1,22	6,63		

P1 = placa número 1; P2 = placa número 2

Los resultados presentados en la tabla 3.9, señalan que el esmalte color Merlot estándar mezclado con 15% de los esmaltes color CI, AM, MO, NE y AO, presentan un ΔE^* mayor que la unidad y existen diferencias notables visualmente.

Tabla 3.10. Resultados de la diferencia de color ΔE^* al mezclar: esmalte color Mora con 15% de esmalte color ME, NE, AM, CI, y AO.

ESMALTE COLOR MORA (MO)	Coordenadas colorimétricas estándar			Diferencia de color ΔE^*	Promedio ΔE^*	Notable diferencia visual
	L*	a*	b*			
	38,88	18,91	7,16			
Mezcla	Coordenadas colorimétricas medidas					
MO + ME (P1)	33,24	12,66	4,80	8,74	8,77	SI
MO + ME (P2)	33,13	12,72	4,68	8,80		
MO + NE (P1)	29,82	4,95	3,23	17,10	17,14	SI
MO + NE (P2)	29,43	5,10	3,27	17,18		
MO + AM (P1)	31,00	5,30	-0,24	17,38	17,33	SI
MO + AM (P2)	30,88	5,47	-0,17	17,27		
MO + CI (P1)	30,90	2,64	1,32	19,04	18,91	SI
MO + CI (P2)	31,61	2,63	1,24	18,78		
MO + AO (P1)	29,87	5,67	-3,62	19,30	19,35	SI
MO + AO (P2)	30,12	5,53	-3,82	19,40		

P1 = placa número 1; P2 = placa número 2

Los resultados presentados en la tabla 3.10, expresan que el esmalte color Mora estándar mezclado con 15% de los esmaltes color ME, NE, AM, CI y AO, presentan un ΔE^* mayor que la unidad, en valores muy altos y existen diferencias notables visualmente, resultando que este es el esmalte más contaminado.

Tabla 3.11. Resultados de la diferencia de color ΔE^* al mezclar: esmalte color Negro con 15 % de esmalte color ME, MO, AM, CI y AO.

ESMALTE COLOR NEGRO (NE)	Coordenadas colorimétricas estándar			Diferencia de color ΔE^*	Promedio ΔE^*	Notable diferencia visual
	L*	a*	b*			
	20,7	0,16	1,14			
Mezcla	Coordenadas colorimétricas medidas					
NE + ME (P1)	20,31	0,32	1,22	0,43	0,42	NO
NE + ME (P2)	21,11	0,13	1,17	0,41		
NE + MO (P1)	20,28	0,27	1,12	0,43	0,50	NO
NE + MO (P2)	20,21	0,45	1,16	0,57		
NE + AM (P1)	20,68	0,28	1,29	0,19	0,24	NO
NE + AM (P2)	20,51	0,33	1,26	0,28		
NE + CI (P1)	20,20	0,55	1,45	0,71	0,50	NO
NE + CI (P2)	20,46	0,14	1,32	0,30		
NE + AO (P1)	20,31	0,40	1,11	0,46	0,48	NO
NE + AO (P2)	20,27	0,40	1,08	0,50		

P1 = placa número 1; P2 = placa número 2

Los resultados presentados en la tabla 3.11, indican que el esmalte color Negro estándar, mezclado con 15 % de los esmaltes color ME, NE, AM, CI y AO, presentan un ΔE^* menor que la unidad y no presenta diferencias notables al ojo humano, este esmalte no se contamina con este porcentaje de contaminante, esto se da por su carácter oscuro, ya que opaca a los demás colores.

3.2.1.1 Diseño de producción que se debe seguir para la minimización de la contaminación del esmalte, en el área de Programación del Control de la Producción (PCP)

El esmalte Azul Cobalto (AO) presenta una desviación de $\Delta E^* < 7$, al mezclarlo con los esmaltes de colores Azul mediterráneo (AM), Merlot (ME), Mora (MO) y Ciprés (CI); y un $\Delta E^* > 7$ con el esmalte color Negro (NE).

Para el diseño de PCP el Azul Cobalto seguirá el siguiente diagrama, presentado en la figura 3.1.

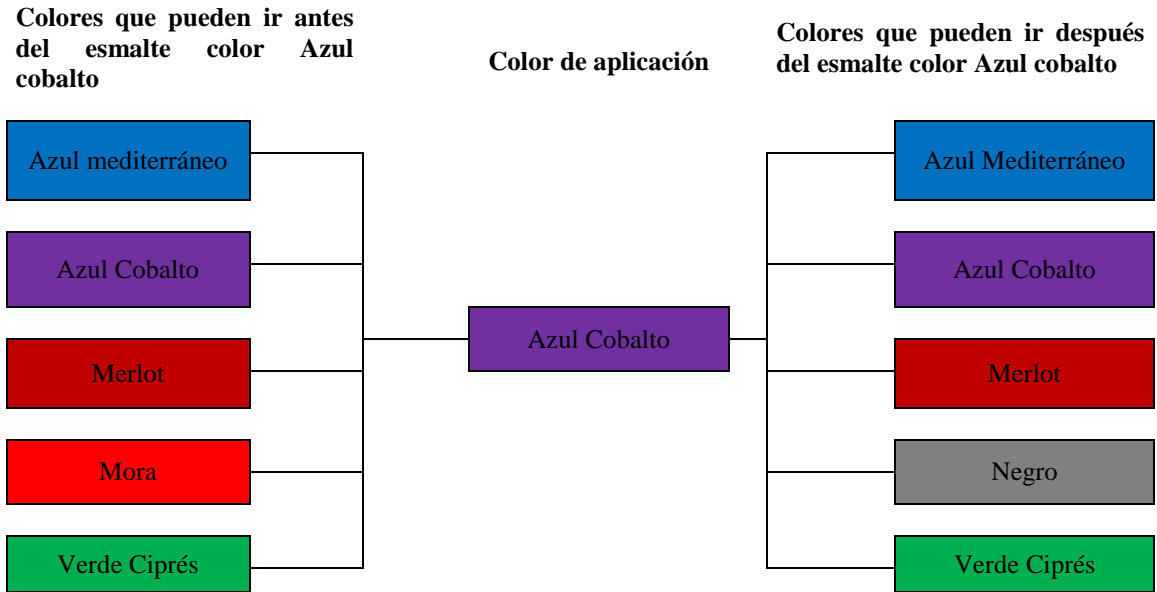


Figura 3.1. Nueva disposición para la configuración de la programación del control de la producción, para el esmalte color Azul Cobalto.

El esmalte color Azul Mediterráneo presenta un $\Delta E^* < 7$ con todos los colores fuertes y para el diseño de PCP, debe seguir el diagrama presentado en la figura 3.2.

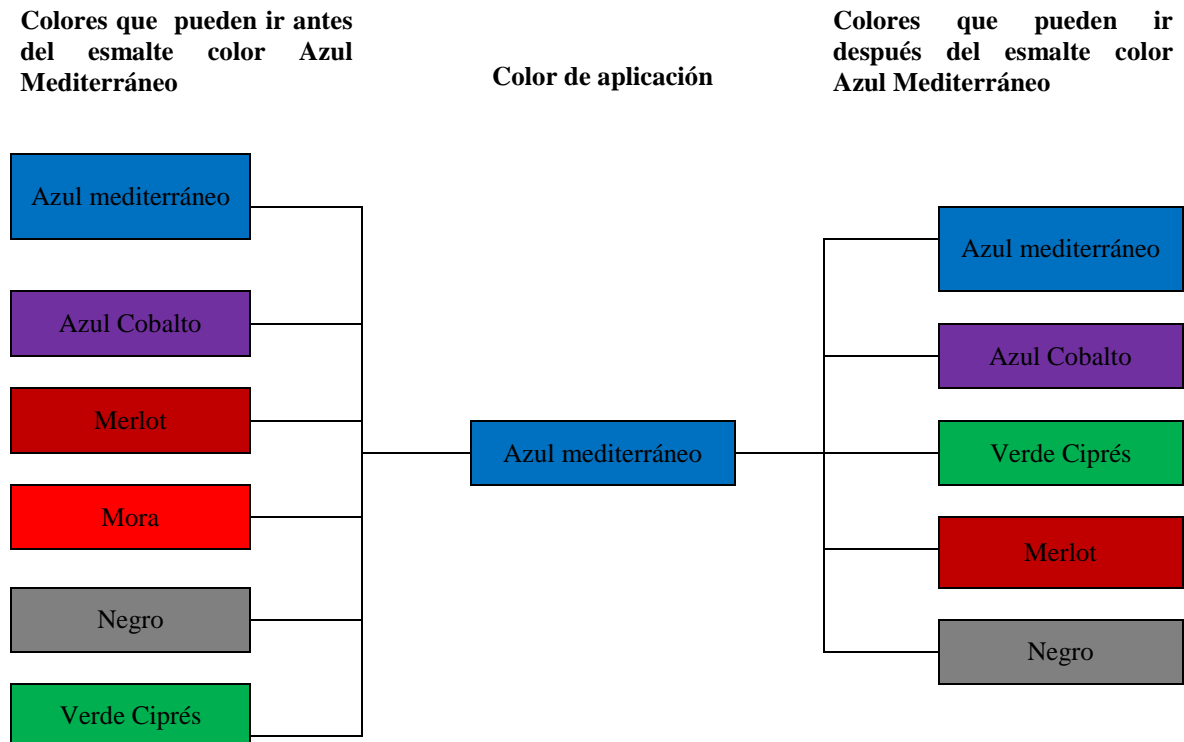


Figura 3.2. Nueva disposición para la configuración del control de la producción, para el esmalte color Azul Mediterráneo.

El esmalte color Ciprés (CI) presenta un $\Delta E^* < 7$ con todos los esmaltes de colores fuertes, y para el diseño de PCP, puede seguir según se muestra el diagrama de la figura 3.3

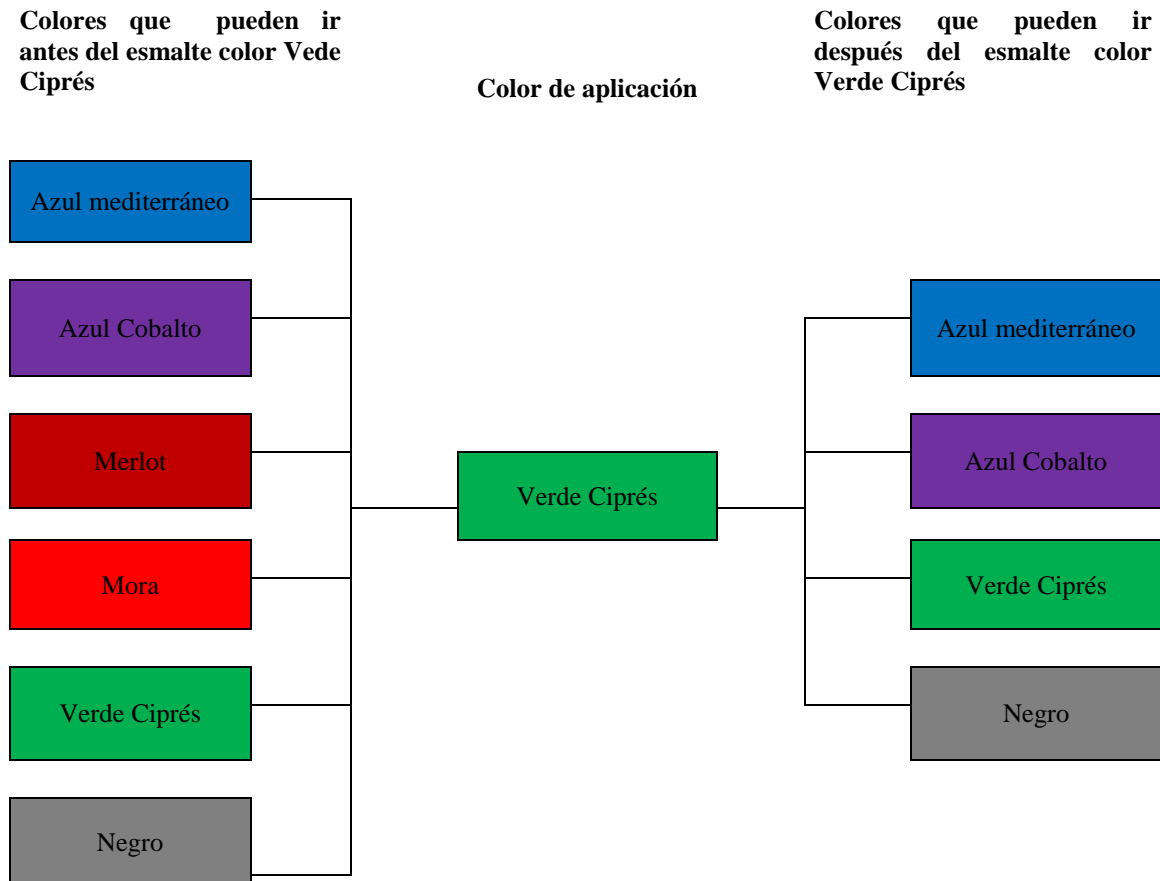


Figura 3.3. Nueva disposición para la configuración de la programación de control de la producción, para el esmalte color Verde ciprés.

El esmalte color Merlot (ME) presenta un $\Delta E^* < 7$ con los esmaltes de colores Azul Mediterráneo (AM), Azul Cobalto, Mora (MO) y Negro (NE), y un $\Delta E^* > 7$ con el esmalte color Ciprés (CI). Para el diseño de PCP con este esmalte se aplicará el diagrama presentado en la figura 3.4.

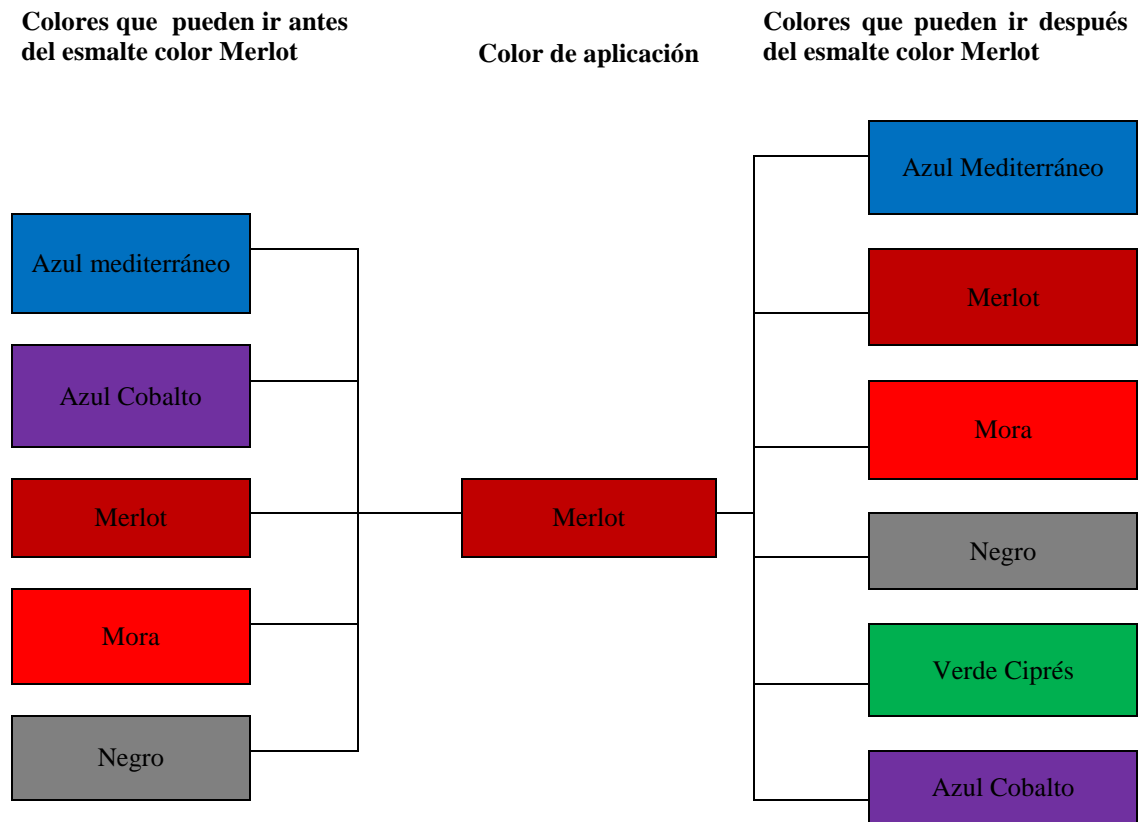


Figura 3.4. Nueva disposición para la configuración de la programación de control de la producción, para el esmalte color Merlot

El esmalte color Mora (MO) presenta un $\Delta E^* > 7$ con todos los esmaltes. La mejor afinidad presentada es con el esmalte color Merlot pero siendo también su $\Delta E^* > 7$, en este caso especial, en PCP se colocará después del esmalte color Merlot (ME), para poder obtener más versatilidad.

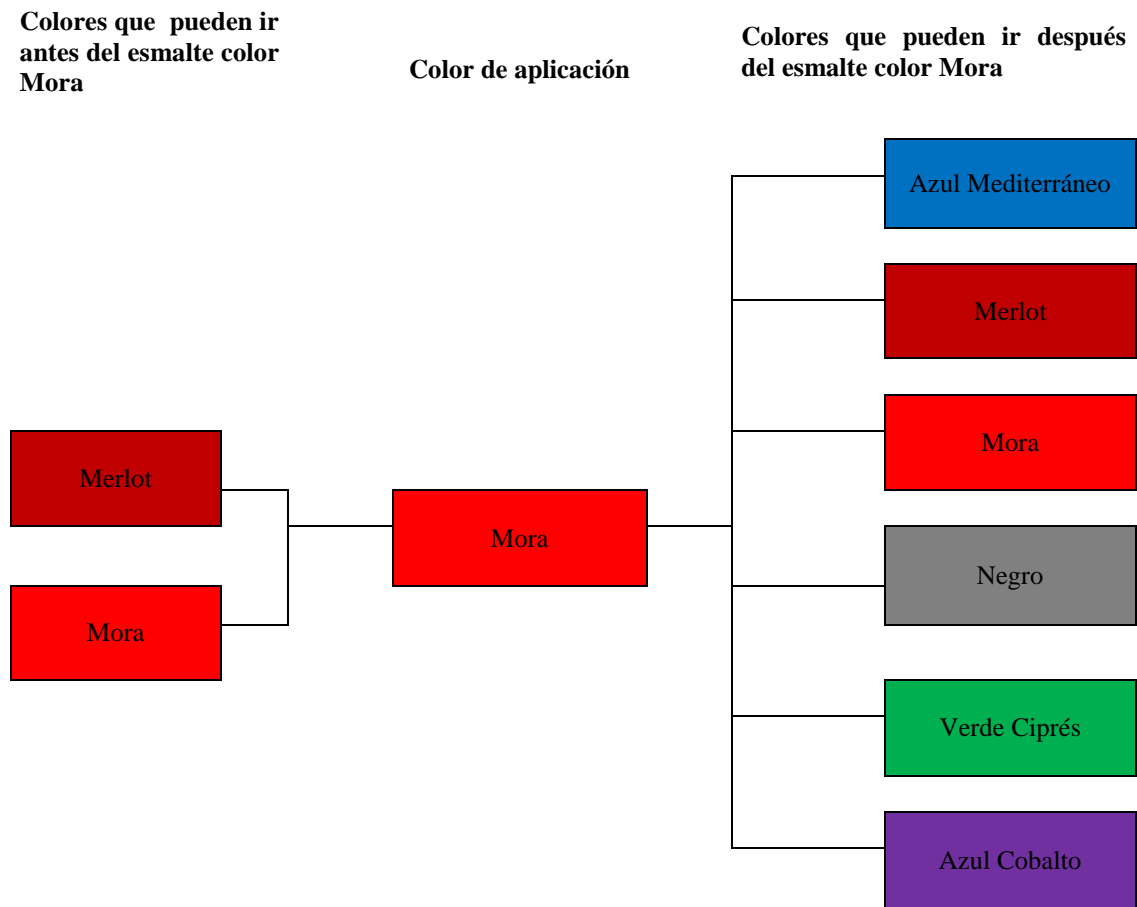


Figura 3.5. Nueva disposición para la configuración de la programación de control de la producción, para el esmalte color Mora.

El esmalte color Negro presenta un $\Delta E^* < 7$ con todos los esmaltes de colores fuertes, para la ubicación de este color al momento de diseñar el PCP se debe seguir las indicaciones del diagrama presentado en la figura 3.6.

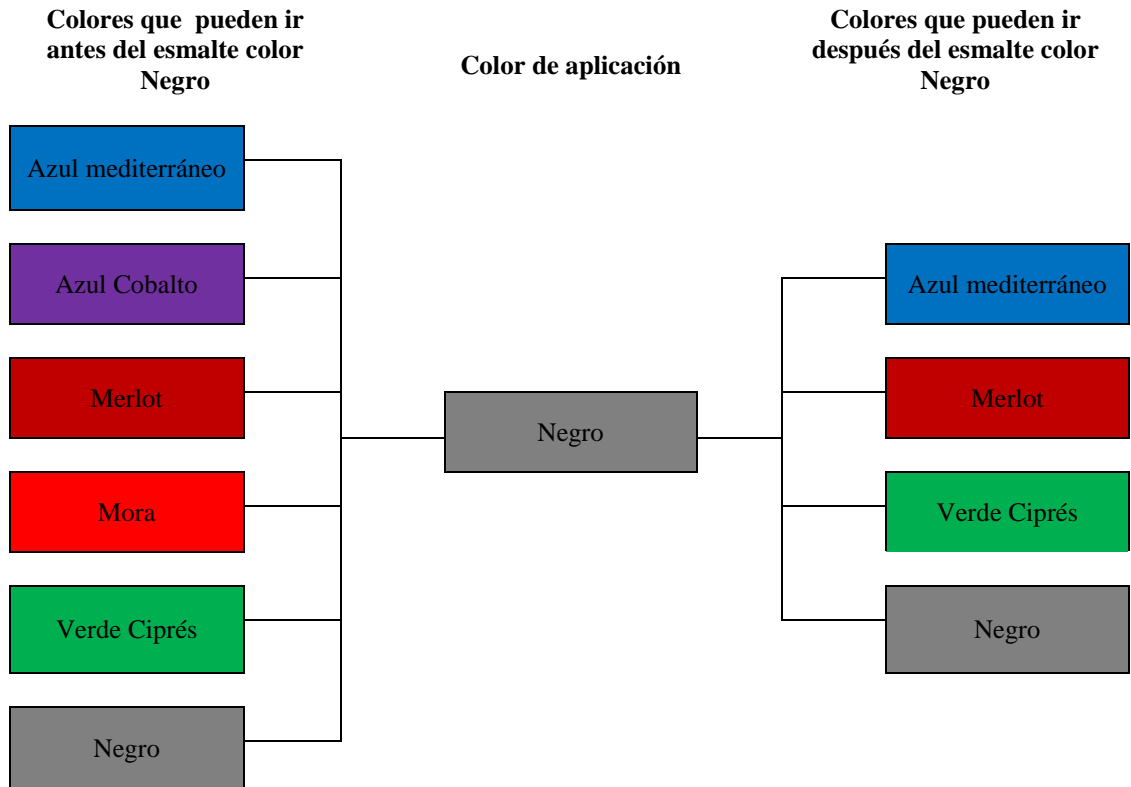


Figura 3.6. Nueva disposición para la configuración de la programación de control de la producción, para el esmalte color Negro.

3.2.1.2 Diseño del Plan de Pruebas que se debe seguir para la realización de las pruebas de aprobación de Bach, en el área de Fabricación de esmaltes.

El esmalte Azul Cobalto, presenta una desviación de $\Delta E^* < 4$ al mezclarlo con los esmaltes de colores: Azul mediterráneo (AM), Merlot (ME), Mora (MO) y un $\Delta E^* > 4$ con los esmaltes color: Negro (NE) y Ciprés (CI). Para el diseño del plan de pruebas semanal se aplicará la siguiente disposición.

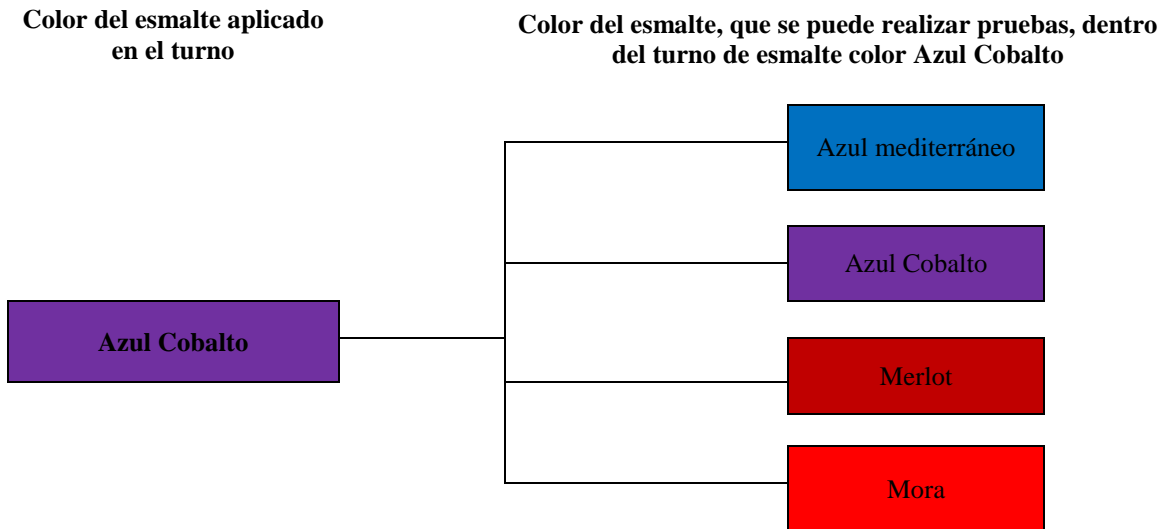


Figura 3.7. Nueva disposición a aplicar para la configuración de las pruebas para la aprobación de Bach, en un turno de esmalte color Azul Cobalto.

El esmalte color Azul Mediterráneo, presenta un $\Delta E^* < 4$ con todos los colores fuertes, entonces con este color se puede realizar pruebas de cualquier color de esmalte, como presenta el diagrama de la figura 3.8.

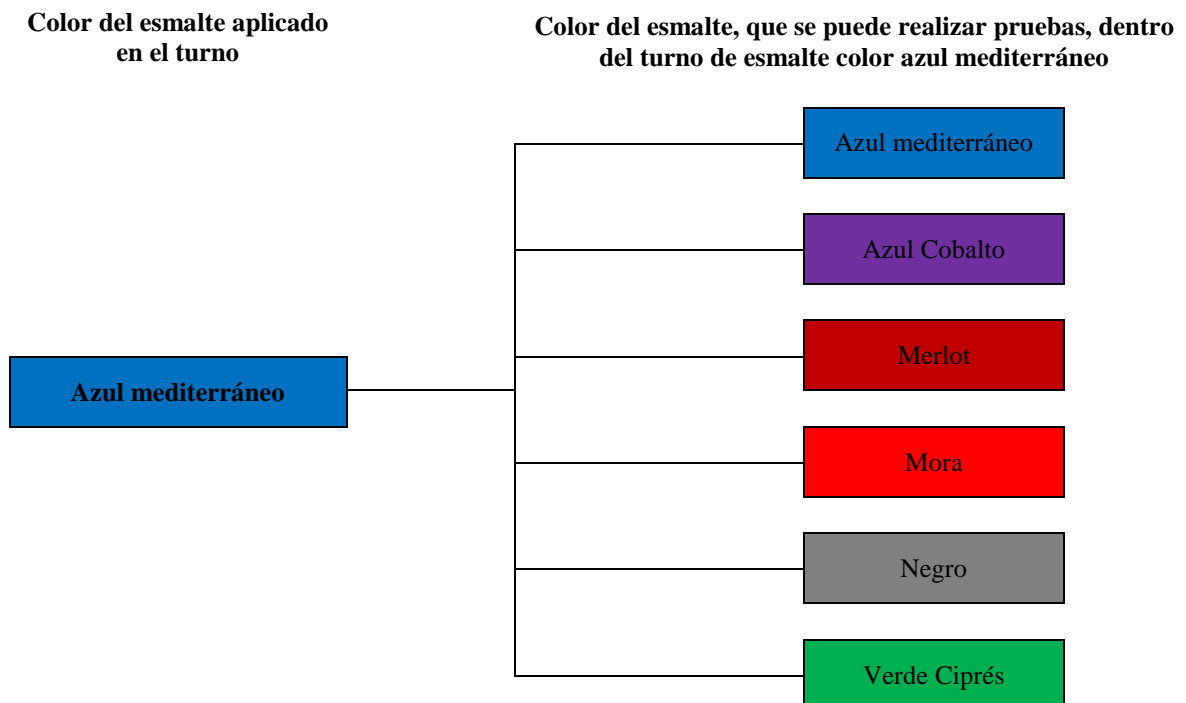


Figura 3.8. Nueva disposición a aplicar para la configuración de las pruebas para la aprobación de Bach, en un turno de esmalte color Azul Mediterráneo

El esmalte color Verde Ciprés, presenta un $\Delta E^* < 4$ al mezclarlo con los esmaltes de colores: Azul mediterráneo (AM), Azul Cobalto (AO), Merlot (ME), Mora (MO) y un $\Delta E^* > 4$ con los esmaltes color Negro (NE). Para el diseño del plan de pruebas semanal se aplicará la siguiente disposición.

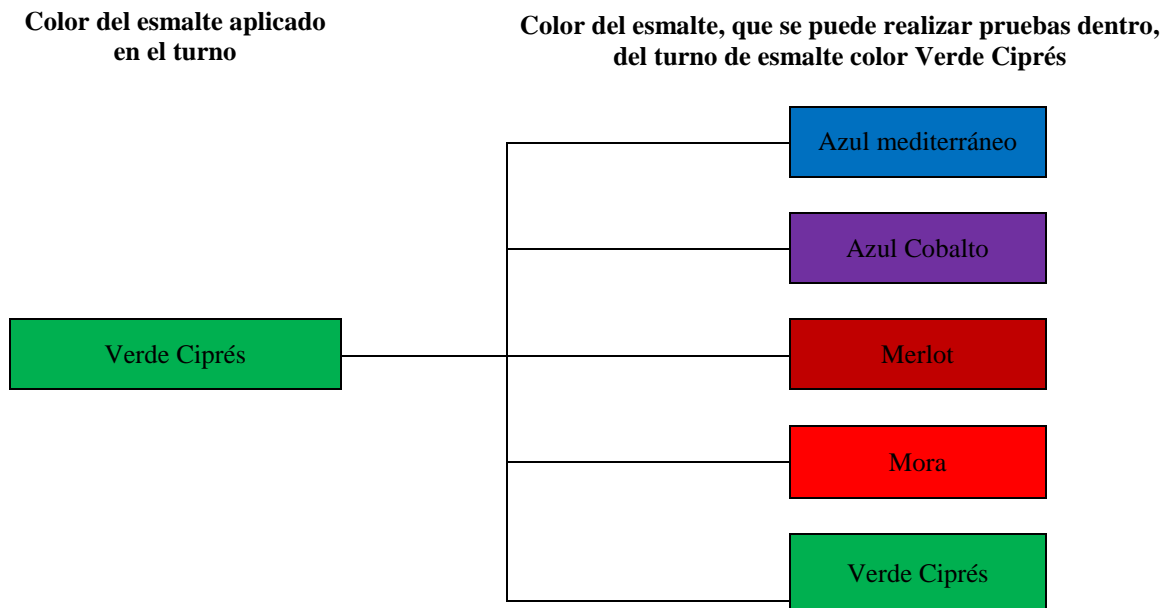


Figura 3.9. Nueva disposición a aplicar para la configuración de las pruebas para la aprobación de Bach, en un turno de esmalte color Verde Ciprés.

El esmalte color Merlot, presenta un $\Delta E^* < 4$ con el esmalte color Mora (MO) y un $\Delta E^* > 4$ con los esmaltes color: Azul Cobalto (AO), Mora (MO) Negro (NE) y Ciprés (CI). Para el diseño del plan de pruebas se aplicará la siguiente disposición.

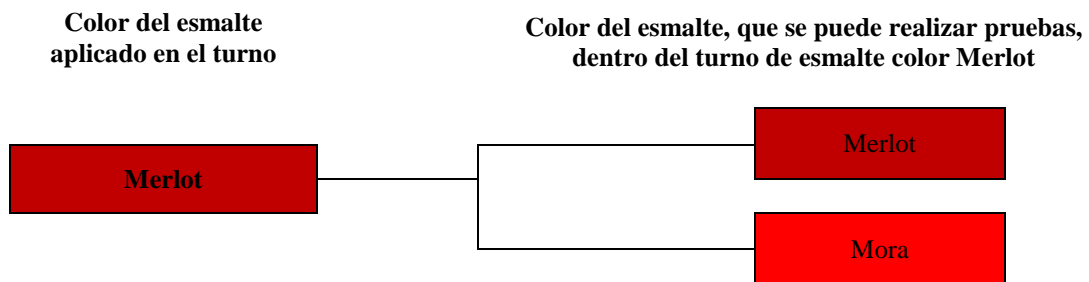


Figura 3.10. Nueva disposición a aplicar para la configuración de las pruebas para la aprobación de Bach, en un turno de esmalte color Merlot.

El esmalte color Mora no presenta un $\Delta E^* < 4$, y presenta un $\Delta E^* > 4$ con los esmaltes color: Azul Cobalto (AO), Azul Mediterráneo (AM), Merlot (ME) Negro (NE) y Ciprés (CI). Para el diseño del plan de pruebas se aplicará la siguiente disposición.

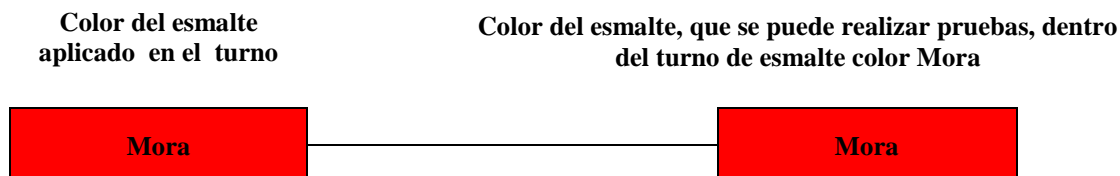


Figura 3.11. Nueva disposición a aplicar para la configuración de las pruebas para la aprobación de Bach, en un turno de esmalte color Mora.

El esmalte color Negro, presenta un $\Delta E^* < 4$ con todos los colores fuertes, las pruebas a realizar en el turno correspondiente a este color, se presentan en la figura 3.12.

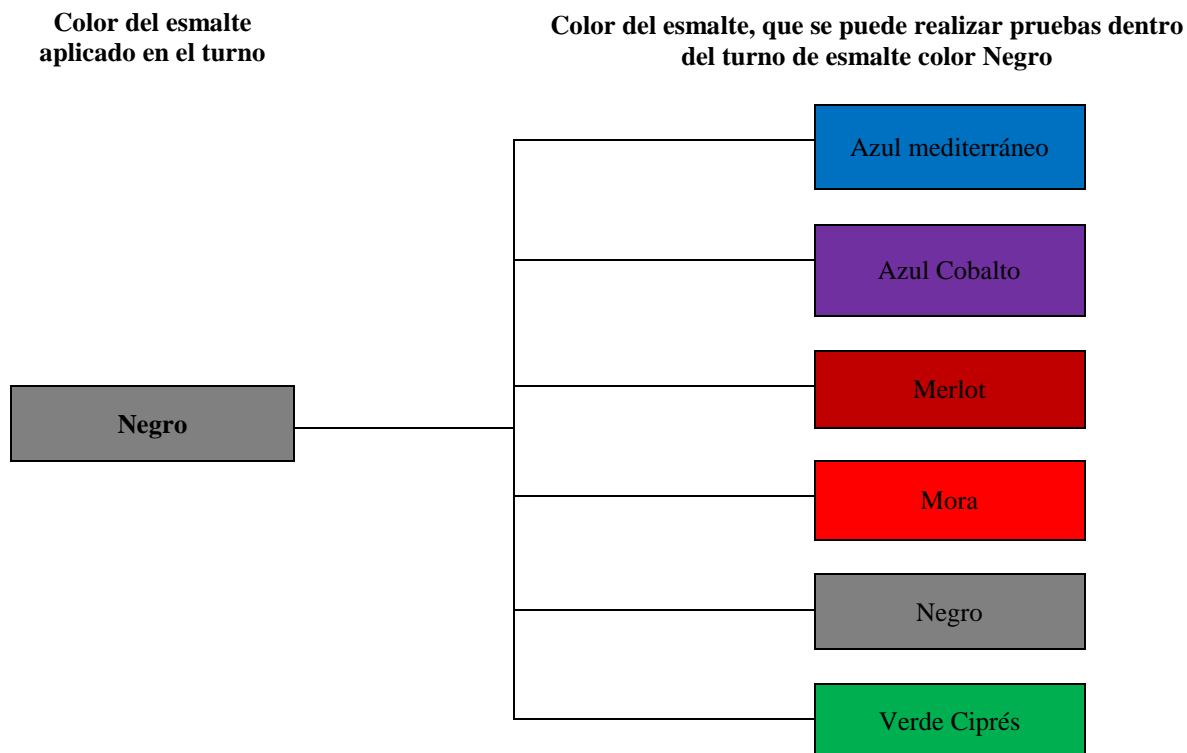


Figura 3.12. Nueva disposición a aplicar para la configuración de las pruebas para la aprobación de Bach, en un turno de esmalte color Negro.

3.3 CLASIFICACIÓN Y RECOLECCIÓN DE LOS ESMALTES CONTAMINADOS EN EL PROCESO DE ESMALTACIÓN

3.3.1 CLASIFICACIÓN Y RECOLECCIÓN DE COLORES FUERTES

3.3.1.1 Clasificación y recolección del esmalte contaminado de las paredes de la cabina

Tabla 3.12. Clasificación de los esmaltes de colores fuertes recolectados en las paredes de la cabina, cuando se aplica esmalte color Azul Mediterráneo.

CLASIFICACIÓN Y RECOLECCIÓN DEL ESMALTE COLOR AZUL MEDITERRÁNEO (AM)															
Color aplicado en el turno anterior						Pruebas realizadas en el turno						Destino del esmalte recolectado			
						Color de la prueba*						Sin prueba	Costal esmalte color AM	Costal de esmalte contaminado	
AO	CI	ME	MO	NE	AM	AM	AO	CI	ME	MO	NE				
X						PUEDE EXISTIR UNA PRUEBA DE CUALQUIER COLOR EN EL TURNO							X	X	
	X													X	X
		X												X	X
			X											X	X
				X										X	X
					X									X	X

*Solo se realiza la prueba de un solo color de esmalte en cada turno.

La tabla 3.12 muestra que el total de esmalte Azul Mediterráneo recolectado en las paredes de la cabina es reciclado como esmalte AM en costales, debido a la baja contaminación que presenta en el tono.

Tabla 3.13. Destino de los esmaltes de colores fuertes recolectados en las paredes de la cabina, cuando se aplica el esmalte color Azul Cobalto.

CLASIFICACIÓN Y RECOLECCIÓN DEL ESMALTE COLOR AZUL COBALTO (AO)														
Color aplicado en el turno anterior						Pruebas realizadas en el turno							Destino del esmalte recolectado	
						Color de la prueba*						Sin prueba	Costal esmalte color AO	Costal de esmalte contaminado
AM	CI	ME	MO	NE	AO	AM	AO	CI	ME	MO	NE			
X						X	X		X	X		X	X	
X								X				X		X
	X					X	X		X	X		X	X	
	X							X				X		X
		X				X	X		X	X		X	X	
		X						X				X		X
			X			X	X		X	X		X	X	
			X					X				X		X
				X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
					X	X	X		X	X		X	X	
					X			X				X		X

*Solo se realiza la prueba de un color de esmalte en cada turno.

La tabla 3.13 muestra que el esmalte Azul Cobalto recolectado en las paredes de la cabina, tiene dos destinos, se recicla como esmalte AO o como esmalte contaminado, ésto se debe a que presenta diferentes variaciones en sus coordenadas con los diferentes esmaltes, presentando con unos más variación que con otros.

Tabla 3.14. Destino de los esmaltes de colores fuertes recolectados en las paredes de la cabina, cuando se aplica el esmalte color Ciprés.

CLASIFICACIÓN Y RECOLECCIÓN DEL ESMALTE COLOR VERDE CIPRÉS (CI)														
Color aplicado en el turno anterior						Pruebas realizadas en el turno							Destino del esmalte	
						Color de la prueba*						Sin prueba	Costal esmalte color CI	Costal de esmalte contaminado
AM	AO	ME	MO	NE	CI	AM	AO	CI	ME	MO	NE			
X						X	X	X	X	X		X	X	
X											X			X
	X					X	X	X	X	X		X	X	
	X										X			X
		X				X	X	X	X	X		X	X	
		X									X			X
			X			X	X	X	X	X		X	X	
			X								X			X
				X		X	X	X	X	X		X	X	
				X							X			X
					X	X	X	X	X	X		X	X	
					X						X			X

*Solo se realiza la prueba de un color de esmalte en cada turno.

La tabla 3.14 muestra que el esmalte Verde Ciprés recolectado en las paredes de la cabina, tiene dos destinos, ésto se debe a que presenta diferentes variaciones en sus coordenadas con los diferentes esmaltes, presentando con unos más variación que con otros.

Tabla 3.15. Destino de los esmaltes de colores fuertes recolectados en las paredes de la cabina, cuando se aplica esmalte color Merlot.

CLASIFICACIÓN Y RECOLECCIÓN DEL ESMALTE COLOR MERLOT														
Color aplicado en el turno anterior						Pruebas realizadas en el turno						Destino del esmalte recolectado		
						Color de la prueba*						Sin prueba	Costal esmalte color ME	Costal de esmalte contaminado
AM	AO	NE	MO	CI	ME	AM	AO	CI	ME	MO	NE			
X									X	X		X	X	
X						X	X	X			X			X
	X								X	X		X	X	
	X					X	X	X			X			X
		X							X	X		X	X	
		X				X	X	X			X			X
			X						X	X		X	X	
			X			X	X	X			X			X
				X		X	X	X	X	X	X	X		X
					X	X	X	X			X			X

*Solo se realiza la prueba de un color de esmalte en cada turno.

La tabla 3.15 muestra que el esmalte color Merlot recolectado en las paredes de la cabina, tiene dos destinos, se recicla como esmalte ME y como esmalte contaminado, ésto se debe a la variación en gran y menor grado, con los diferentes esmaltes de colores fuertes de producción.

Tabla 3.16. Destino de los esmaltes de colores fuertes recolectados en las paredes de la cabina, cuando se aplica esmalte color Mora.

CLASIFICACIÓN Y RECOLECCIÓN DEL ESMALTE COLOR MORA (MO)														
Color aplicado en el turno anterior						Pruebas realizadas en el turno							Destino del esmalte recolectado	
						Color de la prueba*						Sin prueba	Costal esmalte color MO	Costal de esmalte contaminado
MO	AM	AO	NE	ME	CI	AM	AO	CI	ME	MO	NE			
X						X	X	X	X		X			X
X										X		X	X	
	X					X	X	X	X	X	X	X		X
		X				X	X	X	X	X	X	X		X
			X			X	X	X	X	X	X	X		X
				X		X	X	X	X		X			X
				X						X		X	X	
					X	X	X	X	X	X	X	X		X

*Solo se realiza la prueba de un color de esmalte en cada turno.

La tabla 3.16 muestra que el esmalte color Mora recolectado en las paredes de la cabina, tiene dos destinos, se recicla como esmalte MO y como esmalte contaminado, ésto se debe a que los parámetros colorimétricos varían en grande y menor grado, con los diferentes esmaltes de colores fuertes de producción.

Tabla 3.17. Destino de los esmaltes en colores fuertes recolectados en las paredes de la cabina, cuando se aplica esmalte color Negro.

CLASIFICACIÓN Y RECOLECCIÓN DEL ESMALTE COLOR NEGRO (NE)															
Color aplicado en el turno anterior						Pruebas realizadas en el turno						Destino del esmalte recolectado			
												Costal esmalte color NE	Costal de esmalte contaminado		
AM	AO	ME	MO	CI	NE	Color de la prueba*						Sin prueba			
AM	AO	CI	ME	MO	NE	PUEDE EXISTIR UNA PRUEBA DE CUALQUIER COLOR EN EL TURNO									
X													X	X	
	X												X	X	
		X											X	X	
			X										X	X	
				X									X	X	
					X								X	X	

*Solo se realiza la prueba de un color de esmalte en cada turno.

La tabla 3.17 muestra que el esmalte color Negro recolectado en las paredes de la cabina en su totalidad, es reciclado como esmalte AM, ésto se debe a que los parámetros colorimétricos no varían en un alto grado al contaminarse con otro esmalte.

3.3.2 RESULTADOS DE LA CANTIDAD DE ESMALTE RECOLECTADO

Los resultados que se presentan se basan en una recolección durante un periodo de un mes y aplicando las tablas diseñadas para la recolección del mismo.

3.3.2.1 De colores fuertes

Tabla 3.18. Cantidad de esmalte recolectado en colores fuertes de las paredes de la cabina.

N° Batch	Color	Peso Kg (recipiente + Esmalte)	Peso Kg (recipiente)	Peso Kg (esmalte)	Peso seco** (Kg)
26	AM	103,8	8,3	95,5	85,1
27	AM	99,7	11,2	88,5	78,9
28	AM	105,5	9,5	96	85,6
29	AM	111	8,7	102,3	91,2
30	AM	72,3	9,2	63,1	56,3
31	AM	77	10,9	66,1	58,9
32	AM	149	11,1	137,9	122,9
33	AM	93,7	9,2	84,5	75,3
34	AM	98,7	8	90,7	80,9
35	AM	107,2	79	28,2	25,1
36	AM	113,7	8,4	105,3	93,9
37	AM	120,9	12,8	108,1	96,4
24	CI	110	9,1	100,9	90,0
25	CI	76,6	9,7	66,9	59,6
26	CI	107,9	9,5	98,4	87,7
27	CI	102,6	9,2	93,4	83,3
28	CI	166,7	8,3	158,4	141,2
29	CI	114,8	10,6	104,2	92,9
30	CI	115,7	9,6	106,1	94,6
17	ME	95,7	11,3	84,4	75,2
18	ME	112,8	10,5	102,3	91,2
19	ME	99,5	9,8	89,7	80,0
12	MO*	86,3	8,6	77,7	69,3
13	MO	117,5	10,7	106,8	95,2
14	MO	108,1	9,2	98,9	88,2
9	AO*	106,9	10,1	96,8	86,3
10	AO	106,3	9,4	96,9	86,4
11	AO	106,1	10,3	95,8	85,4
TOTAL				2643,8	2356,9
PROMEDIO Kg POR TURNO				94,4	84,2

*Esmaltes que se enviaron a contaminados según las tablas de clasificación; ** Cálculo en base a los resultados del proyecto de tesis Evaluación y disminución de pérdidas en el proceso de preparación y aplicación de esmalte en F.V. (Acebedo, 2008).

La tabla 3.18 presenta la cantidad de esmalte recolectado de colores fuertes durante un mes de producción de esmaltes, proveniente de la limpieza de las

paredes de la cabina 6. Se utilizó las tablas de clasificación y recolección presentadas en la sección 3.3.1.1 de este capítulo.

Se observa que existen dos esmaltes recolectados, MO* y AO* que se enviaron a contaminados, estos presentan un alto grado de contaminación en el tono, y se debe a que en el diseño de PCP semanal no siempre se puede ajustar a un programa exacto, pues tiene que regirse también a la demanda del mercado.

Tabla 3.19. Cantidad de esmalte recolectado de las purgas de la bomba de la cabina 6 (Colores fuertes).

N° Batch	Color	Volumen de las purgas recolectadas (litros)	Peso seco*
26	AM	4,50	3,00
27	AM	5,00	3,30
28	AM	5,00	3,30
29	AM	3,80	2,50
30	AM	5,20	3,40
31	AM	4,30	2,80
32	AM	5,30	3,50
33	AM	4,80	3,20
34	AM	5,00	3,30
35	AM	4,70	3,10
36	AM	5,00	3,30
37	AM	4,50	3,00
24	CI	4,50	3,00
25	CI	4,50	3,00
26	CI	4,50	3,00
27	CI	4,50	3,00
28	CI	4,50	3,00
29	CI	4,70	3,10
30	CI	4,50	3,00
17	ME	5,00	3,30
18	ME	5,30	3,50
19	ME	5,00	3,30
12	MO	4,50	3,00
13	MO	5,60	3,70
14	MO	5,60	3,70
9	AO	4,30	2,80
10	AO	5,00	3,30
11	AO	4,50	3,00
TOTAL		133,60	88,40
PROMEDIO POR TURNO		4,80	3,20

* Cálculo en base a los resultados del proyecto de tesis Evaluación y disminución de pérdidas en el proceso de preparación y aplicación de esmalte en F.V. (Acevedo, 2008)

La tabla 3,19 presenta el volumen de esmalte recolectado en un mes de producción normal procedente de las purgas de la bomba de la cabina 6 (colores fuertes). El esmalte recolectado en purgas va en su totalidad a una clasificación por tipo de color.

Tabla 3.20. Cantidad de esmalte recolectado en un mes de la bandeja posterior de la cabina 6 (colores fuertes).

Número de recolección	Volumen (Litros) recolectado	Peso seco*
1	380,0	253,0
2	385,0	256,3
TOTAL	765,0	509,3
PROMEDIO/MES	765,0	254,6

* Cálculo en base a los resultados del proyecto de tesis Evaluación y disminución de pérdidas en el proceso de preparación y aplicación de esmalte en F.V. (Acevedo, 2008)

La tabla 3.20 presenta, el total de esmalte recolectado de la bandeja posterior de la cabina 6 (colores fuertes) en un mes de producción normal, la recolección se realizó cada 15 días.

3.3.2.2 Colores Pasteles

Tabla 3.21. Cantidad de esmalte recolectado en un mes de las paredes de la cabina 4, (colores pasteles).

N° Batch	Color	Peso del recipiente + Esmalte (Kg)	Peso del recipiente (Kg)	Peso del Esmalte (Kg)	Peso seco* (Kg)
8	CS	97,6	9,8	87,8	78,3
10	AR	103,5	8,7	94,8	84,5
5	AC	101,8	11,5	90,3	80,5
13	VP	106,7	9,4	97,3	86,7
9	CS	89,6	10,7	78,9	70,3
11	AR	102,7	9,3	93,4	83,3
TOTAL				542,5	483,6
PROMEDIO POR TURNO				90,4	80,6

* Cálculo en base a los resultados del proyecto de tesis Evaluación y disminución de pérdidas en el proceso de preparación y aplicación de esmalte en F.V. (Acevedo, 2008)

La tabla 3.21 presenta la cantidad de esmalte recolectado durante un mes de producción en la cabina 4 (colores pasteles), siguiendo el mismo programa que se viene aplicando en la empresa. Este valor comparado al recolectado en colores fuertes es muy inferior, debido principalmente a que ya existía un plan para recolectar esmalte de esta cabina, siempre y cuando el esmalte no esté contaminado en el tono. La producción en esta cabina no es permanente como en la de colores fuertes.

Tabla 3.22. Cantidad de esmalte recolectado en un mes de las purgas de la cabina 4, (colores pasteles)

Nº Bach	Color	Volumen purgas recolectadas (litros)	Peso seco *
8	CS	5,2	3,5
10	AR	5,0	3,3
5	AC	5,1	3,4
13	VP	4,8	3,2
9	CS	5,0	3,3
11	AR	4,7	3,1
TOTAL		29,8	19,9
PROMEDIO POR TURNO		5	3,3

* Cálculo en base a los resultados del proyecto de tesis Evaluación y disminución de pérdidas en el proceso de preparación y aplicación de esmalte en F.V. (Acevedo, 2008)

La tabla 3.22 presenta el volumen recolectado de las purgas provenientes de la bomba de la cabina 4 (colores pasteles). En comparación con el volumen en colores fuertes es mucho menor, por este motivo se realizó la recolección en un solo recipiente.

Tabla 3.23. Cantidad de esmalte recolectado en un mes de la bandeja posterior en la cabina 4, (colores pasteles).

Número de recolección	Volumen recolectado (litros)	Peso seco*
1	360,0	239,7
2	370,0	246,3
TOTAL	730,0	486,0
PROMEDIO	730,0	243,0

* Cálculo en base a los resultados del proyecto de tesis Evaluación y disminución de pérdidas en el proceso de preparación y aplicación de esmalte en F.V. (Acevedo, 2008)

La tabla 3.23 presenta la cantidad de esmalte recolectado de la bandeja posterior en un mes. Comparando este volumen con el recolectado en los esmaltes de colores fuertes presentado en la tabla 3.20, las cantidades recolectadas son parecidas, ésto se debe a que los esmaltes fuertes solo pueden recuperarse cada 15 días, por condiciones de operación.

3.3.2.3 Total de esmalte recolectado.

La tabla 3.24 presenta la cantidad total de esmalte recolectado durante un mes para proceder a la recuperación del tono y reutilizarlo como materia prima. Este esmalte tenía diferentes destinos, como se observó en la revisión de la situación actual y no tenía una valoración.

Tabla 3.24. Total de esmalte recolectado en un mes, proveniente de las paredes de las cabinas, de las purgas y de la bandeja posterior en colores fuertes y pasteles.

Fracción de pérdida en:	Kg secos
Esmalte de paredes	2840,5
Esmalte de purgas	108,3
Esmalte de bandeja	995,3
TOTAL	3944,1

La figura 3.13 presenta el porcentaje mensual de esmalte recolectado, en cada fracción de pérdida, donde se demuestra que la mayor cantidad de esmalte recolectado corresponde al de las paredes de la cabina.

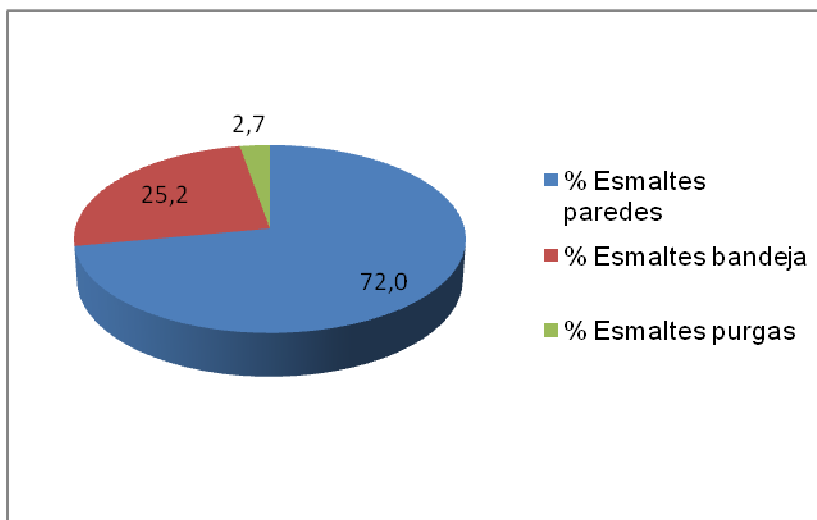


Figura 3.13. Porcentaje de cada fracción de pérdida recolectada de esmalte.

Con respecto al tipo de color de esmalte, fuertes y pasteles, los primeros representan el 74,9 %, mientras que los segundos representan el 25,1 % del total.

En cuanto al porcentaje de esmalte por tipo de procedencia, en colores fuertes y pasteles: en los esmaltes provenientes de las paredes de la cabina, la mayor cantidad corresponde a los colores fuertes con un 83 % del total recolectado en esta fracción de pérdida, al igual que en las purgas con un 81,6 %, mientras en los esmaltes recolectados de la bandeja posterior el porcentaje es algo similar para ambos tipos de colores, todo esto lo muestra la figura 3.14.

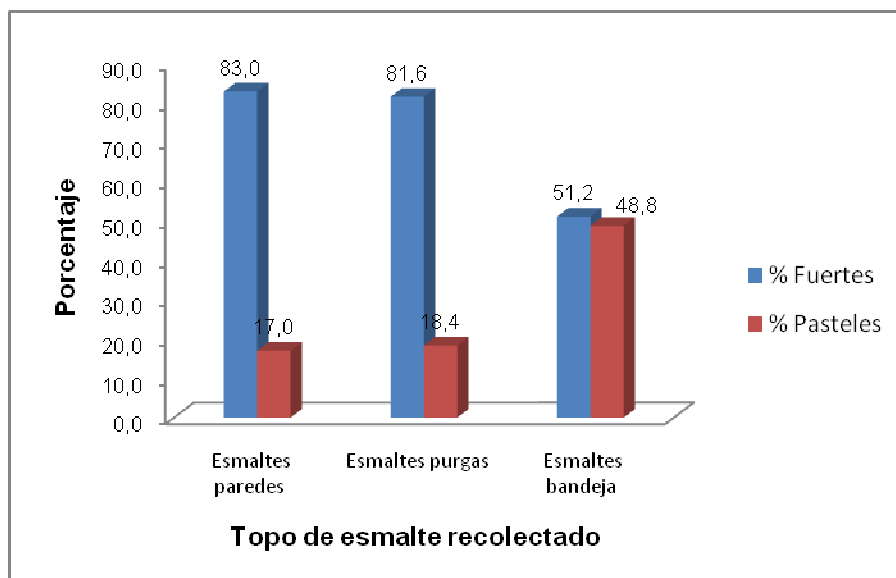


Figura 3.14. Porcentaje de recolección por tipo de procedencia del esmalte en los tipos de colores fuertes y pasteles.

3.4 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS MEDIDOS EN LOS ESMALTES RECOLECTADOS.

Implantado el plan de disminución de la contaminación, y la recolección del esmalte contaminado, se procede a medir el color y la humedad del esmalte.

3.4.1 COLORES FUERTES RECOLECTADOS DE LAS PAREDES DE LA CABINA

La cuantificación de ΔE^* y el porcentaje de sólidos para todos los colores de esmaltes se presenta en la tabla 3.25; y en el ANEXO III donde se encuentra las coordenadas medidas, y el cálculo de ΔE^* .

Tabla 3.25. Cuantificación de ΔE^* y porcentaje de sólidos de los esmaltes con colores fuertes, recolectados de las paredes de la cabina.

Color de esmalte	N° Carga preparada	Diferencia entre coordenadas colorimétricas medidas y estándar			Diferencia de color ΔE^*	Diferencia visual notable respecto al estándar	Humedad (%)	% Sólidos
		ΔL^*	Δa^*	Δb^*				
Azul Mediterráneo	1	-0,29	0,92	-1,54	1,82	SI	10,58	89,42
	2	-0,60	0,74	-0,23	0,98	SI	12,26	87,74
	3	0,04	0,98	-1,04	1,43	SI	10,45	89,55
	4	-0,23	0,81	-1,13	1,41	SI	13,12	86,88
	Promedio							11,60
Verde Ciprés	1	0,77	-0,68	-0,15	1,04	SI	12,24	87,76
	2	1,20	-0,63	-0,24	1,38	SI	11,49	88,51
	3	1,04	-1,55	-0,07	1,87	SI	10,92	89,08
	4	1,07	-0,62	-0,36	1,29	SI	9,87	90,13
	Promedio							11,13
Merlot	1	0,21	1,92	0,92	2,14	SI	13,56	86,44
	2	0,19	3,20	0,17	3,21	SI	9,45	90,55
	3	0,01	1,82	-2,34	2,96	SI	9,80	90,20
	4	0,09	2,02	0,67	2,13	SI	11,35	88,65
	Promedio							11,04
Mora	1	-2,03	-3,82	-1,31	4,53	SI	10,47	89,53
	2	-1,46	-2,95	-1,08	3,46	SI	14,36	85,64
	3	-1,09	-3,22	-1,59	3,75	SI	12,12	87,88
	4	-1,36	-5,63	-3,45	6,74	SI	11,35	88,65
	Promedio							12,08
Negro	1	0,18	0,22	0,05	0,29	NO	14,46	85,54
	2	-0,29	0,37	0,02	0,47	NO	13,23	86,77
	3	-0,30	0,39	0,31	0,58	NO	13,76	86,24
	4	-0,44	0,08	-0,02	0,45	NO	12,26	87,74
	Promedio							13,43
Azul Cobalto	1	0,36	-0,19	-3,12	3,15	SI	12,23	87,77
	2	-0,21	0,14	-3,06	3,07	SI	13,67	86,33
	3	-0,30	0,97	-2,26	2,48	SI	13,85	86,15
	4	-0,51	-0,43	-2,04	2,15	SI	10,42	89,58
	Promedio							12,54

Con base en los resultados de la tabla 3.25, las coordenadas colorimétricas medidas en los esmaltes de colores fuertes recolectados en las paredes de la cabina, presentan un desvío con respecto a los estándares colorimétricos de producción presentados en la tabla 2.3, la tolerancia respecto a los estándares para cada coordenada representadas por ΔL^* , Δa^* y Δb^* están por encima de lo permitido ± 1 para la diferencia en L^* y $\pm 0,5$ para a^* y b^* lo que cuantifican un ΔE^* mayor que la unidad para los esmaltes color Azul Cobalto, Azul Mediterráneo, Verde Ciprés, Merlot y Mora, y por consiguiente se obtiene una notable diferencia de color al ojo humano.

La tabla 3.25 también muestra que existen casos en que ΔE^* es menor que la unidad pero no cumple con la observación visual, y existe una diferencia notable con el estándar, esto produce porque la tolerancia de una coordenada se encuentra fuera de lo permitido y las otras normalmente cumplen con una tolerancia muy por debajo de lo permitido, demostrando que una coordenada muy desviada respecto al estándar y según el eje cromático o luminoso al que pertenezca, dará una tendencia marcada al color del eje. Esto se puede observar en la carga número 2 del esmalte color Azul mediterráneo, todo esto sirve para establecer el color definitivo.

El promedio total de la humedad del esmalte recolectado de las paredes de la cabina es del 11,97 %, presentándose el esmalte de forma semi-seco.

3.4.2 COLORES FUERTES RECOLECTADOS DE LAS PURGAS.

Tabla 3.26. Medida de los parámetros de color y humedad de colores fuertes recolectados de las purgas.

Color de esmalte	N° Muestra preparada	Diferencia entre coordenadas colorimétricas medidas y estándar			Diferencia de color ΔE^*	Diferencia visual notable respecto al estándar	Humedad (%)	% Sólidos
		ΔL^*	Δa^*	Δb^*				
Azul Mediterráneo	1	-0,30	0,28	0,23	0,47	NO	34,65	65,35
	2	-0,30	-0,12	-0,77	0,53	NO	33,54	66,46
	3	-0,10	0,08	-0,07	0,15	NO	34,89	65,11
	4	0,00	0,08	-0,37	0,38	NO	34,63	65,37
	Promedio							34,43
Verde Ciprés	1	-0,11	-0,19	0,37	0,43	NO	33,93	66,07
	2	0,17	-0,31	0,27	0,44	NO	34,62	65,38
	3	0,29	-0,07	0,49	0,58	NO	32,89	67,11
	4	0,17	-0,34	0,33	0,51	NO	34,86	65,14
	Promedio							34,08
Merlot	1	-0,44	0,47	0,08	0,65	NO	34,43	65,57
	2	-0,01	0,40	0,27	0,48	NO	33,65	66,35
	3	-0,34	0,19	-0,17	0,42	NO	33,87	66,13
	4	0,18	0,33	-0,18	0,42	NO	33,98	66,02
	Promedio							33,98
Mora	1	-0,41	-0,2	0,14	0,48	NO	32,98	67,02
	2	-0,1	0,38	0,32	0,51	NO	33,76	66,24
	3	-0,65	-0,49	-0,38	0,9	NO	34,78	65,22
	4	-0,41	-0,37	-0,27	0,61	NO	33,96	66,04
	Promedio							33,87
Negro	1	0,30	-0,39	-0,61	0,78	NO	34,78	65,22
	2	-0,40	-0,07	0,01	0,41	NO	35,06	64,94
	3	0,41	-0,21	-0,08	0,47	NO	34,43	65,57
	4	0,49	-0,29	-0,02	0,57	NO	34,67	65,33
	Promedio							34,74
Azul Cobalto	1	-0,08	-0,19	-0,12	0,24	NO	33,98	66,02
	2	-0,21	0,12	-0,06	0,25	NO	35,26	64,74
	3	-0,30	-0,03	-0,26	0,40	NO	35,43	64,57
	4	-0,51	-0,13	-0,04	0,53	NO	34,57	65,43
	Promedio							34,81

Con base en los resultados de la tabla 3.26 se aprecia que: las coordenadas colorimétricas medidas en los esmaltes de colores fuertes recolectados en las purgas, no presentan un desvío con respecto a los estándares colorimétricos de

producción presentados en la tabla 2.3, la tolerancia respecto a los estándares para cada coordenada representadas por ΔL^* , Δa^* y Δb^* están por debajo de lo permitido, ± 1 para la diferencia en L^* y $\pm 0,5$ para a^* y b^* , lo que cuantifican un ΔE^* menor que la unidad en todos los colores. Evaluado visualmente estos esmaltes son iguales en color con los estándares.

El promedio total de la humedad del esmalte recolectado de las purgas es del 34,32%, presentándose el esmalte de forma líquida, por debajo del permitido, siendo esta la principal razón para no reutilizarlo.

3.4.3 COLORES FUERTES RECOLECTADOS DE LA BANDEJA POSTERIOR DE LA CABINA.

Tabla 3.27. Medida de los parámetros de color y humedad del esmalte en colores fuertes recolectado de la bandeja posterior de la cabina.

N° Carga preparada	Coordenadas colorimétricas			Humedad (%)	% Sólidos
	L*	a*	b*		
1	26,45	-1,48	-3,74	36,41	63,59
2	31,57	-3,52	-2,37	37,17	62,83
3	21,25	-0,68	-3,89	35,68	64,32
4	22,69	-1,34	-4,26	36,86	63,14
Promedio				36,53	63,47

La tabla 3.27 presenta las coordenadas medidas en el esmalte recolectado de la bandeja posterior de las cabinas, donde se manifiesta una alta variación en sus coordenadas, y específicamente de carga en carga preparada, lo que indica que existe una contaminación muy alta en el tono de estos esmaltes, esto es consecuencia de que en un mes de esmaltación solo se recolecta dos veces y en este periodo de tiempo se ha esmaltado varios colores fuertes.

No es posible comparar con ningún estándar por la variación que este esmalte presenta, visualmente no es comparable con ningún estándar por la misma razón.

La humedad es alta existiendo un exceso de agua en comparación con un esmalte de producción.

3.4.4 COLORES PASTELES RECOLECTADOS DE LAS PAREDES DE LA CABINA.

Tabla 3.28. Medida de los parámetros de color y humedad del esmalte en colores pasteles recolectados de paredes.

N° Carga preparada	coordenadas colorimétricas			Humedad (%)	% Sólidos
	L*	a*	b*		
1	78,84	-0,69	-4,96	13,46	86,54
2	77,82	-1,17	-6,75	11,23	88,77
3	81,39	1,05	2,30	14,76	85,24
4	77,11	0,18	1,94	12,26	87,74
Promedio				12,93	87,07

La tabla 3.28 presenta, las coordenadas medidas en el esmalte en colores pasteles recolectado de las paredes de las cabinas, estas coordenadas también presentan una desviación de carga en carga, lo que indica que existe una contaminación muy alta en el tono de estos esmaltes, esto es consecuencia de que en un mes de esmaltación solo se recolecta dos veces y en este periodo de tiempo se ha esmaltado varios colores pasteles.

No se compara con ningún estándar por la variación que este esmalte presenta en sus coordenadas, visualmente tampoco es comparable con ningún estándar por la misma razón.

3.4.5 COLORES PASTELES RECOLECTADOS DE LAS PURGAS.

Tabla 3.29. Medida de los parámetros de color y humedad del esmalte con colores pasteles recolectados de las purgas.

N° Muestra preparada	coordenadas colorimétricas			Humedad (%)	% Sólidos
	L*	a*	b*		
1	74,51	1,04	4,74	35,48	64,52
2	78,82	-1,29	-4,73	35,06	64,94
3	71,20	0,97	1,49	35,43	64,57
4	81,39	1,05	2,30	34,67	65,33
Promedio				35,16	64,84

La tabla 3.29 presenta las coordenadas medidas en el esmalte de colores pasteles recolectado de las purgas que manifiestan una alta desviación entre las diferentes medidas realizadas, lo que indica que existe una contaminación muy alta en el tono en estos esmaltes, esto es consecuencia de que el esmalte es recolectado en un solo recipiente.

No se compara con ningún estándar por la variación que este esmalte presenta en sus coordenadas, visualmente no es comparable con ningún estándar por la misma razón. También presentan un exceso de agua por su humedad alta con respecto al esmalte de producción.

3.4.6 COLORES PASTELES RECOLECTADOS DE LA BANDEJA POSTERIOR.

Tabla 3.30. Medida de los parámetros de color y humedad del esmalte en colores pasteles recolectados de la bandeja posterior.

N° Muestra preparada	coordenadas colorimétricas			Humedad (%)	% Sólidos
	L*	a*	b*		
1	74,13	-1,01	-0,82	37,41	62,59
2	76,70	0,24	2,31	36,67	63,33
3	74,63	0,48	3,55	35,78	64,22
4	74,07	-0,29	-2,59	37,16	62,84
Promedio				36,76	63,25

La tabla 3.30 presenta las coordenadas medidas en el esmalte de colores pasteles recolectado de la bandeja posterior de la cabina, estas coordenadas presentan una desviación en las diferentes medidas realizadas, lo que indica que existe una contaminación muy alta en el tono de estos esmaltes, esto es consecuencia de que en un mes de esmaltación sólo se recolecta dos veces y en este periodo de tiempo se ha esmaltado varios colores pasteles.

No se compara con ningún estándar para evaluar ΔE^* , por la variación que este esmalte presenta en sus coordenadas, y visualmente no es comparable con ningún estándar por la misma razón. La humedad de este esmalte es alta comparada con los esmaltes de producción, lo que indica un exceso de agua.

Con base a todas las mediciones de color realizadas en las diferentes fracciones de pérdida de esmaltes en el proceso de esmaltación, se puede clasificar dos tipos de esmaltes para proceder a su recuperación:

- Existen esmaltes recolectados que se pueden comparar con estándares cuantitativa y visualmente, estos son esmaltes recolectados por color y se les denominará esmaltes con una baja contaminación en el tono.
- Otros esmaltes no son comparables cuantitativa ni visualmente con un estándar definido, estos son esmaltes que no se recuperan por una clasificación por color y se les denominará esmaltes con una alta contaminación en el tono.

3.5 RESULTADOS DE LA RECUPERACIÓN DEL ESMALTE RECOLECTADO A UN COLOR DE PRODUCCIÓN.

3.5.1 RESULTADOS DE LA RECUPERACIÓN A UN TONO DE PRODUCCIÓN DE ESMALTES RECOLECTADOS QUE PRESENTAN UNA BAJA CONTAMINACIÓN EN EL TONO.

A este tipo de esmaltes corresponde una fracción de los esmaltes en colores fuertes recolectados de las paredes de la cabina y todo el esmalte recolectado de las purgas.

3.5.1.1 Recuperación del tono de los esmaltes color Azul Mediterráneo, Verde Ciprés, Merlot y Mora recolectados.

Tabla 3.31. Ajuste de las coordenadas colorimétricas en los diferentes casos presentados del esmalte recolectado, para los esmaltes colores Azul Mediterráneo, Verde Ciprés, Merlot y Mora.

AJUSTE DEL TONO EN EL ESMALTE AZUL MEDITERRÁNEO RECOLECTADO								
Caso de contaminación numero 1								
CASO 1	Coordenadas colorimétricas			Diferencia entre coordenadas colorimétricas medidas y estándar			Diferencia de color ΔE^*	Observación visual respecto al estándar.
	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*		
		21,49	-0,34	-4,03	-0,29	0,92	-1,54	1,82
% de adición de esmalte Azul Cobalto	Ajuste del tono mediante variación de las coordenadas colorimétricas con esmalte Azul Cobalto al caso numero 1							
10	21,59	0,08	-4,87	-0,39	0,50	-0,70	0,94	azul verdoso tenue
20	21,71	0,42	-5,20	-0,51	0,16	-0,37	0,65	azul
30	21,87	0,67	-5,78	-0,67	-0,09	0,21	0,71	azul rojizo tenue

Tabla 3.31. Ajuste de las coordenadas colorimétricas en los diferentes casos presentados del esmalte recolectado, para los esmaltes colores Azul Mediterráneo, Verde Ciprés, Merlot y Mora, **continuación.....**

Caso de contaminación numero 2								
CASO 2	21,80	0,72	-4,5	-0,6	-0,14	-1,07	1,23	rojizo
% de adición de esmalte Verde ciprés	Ajuste del tono mediante variación de las coordenadas colorimétricas con esmalte color Verde Ciprés al caso numero 2							
10	21,69	0,65	-4,92	-0,49	-0,07	-0,65	0,82	azul verdoso tenue
20	21,72	0,67	-5,12	-0,52	-0,09	-0,45	0,69	azul
30	21,58	0,56	-5,13	-0,38	0,02	-0,44	0,58	azul rojizo tenue
Caso de contaminación numero 3								
CASO 3	20,60	0,30	-4,60	0,60	0,28	-0,97	1,17	Azul oscuro
% de adición de esmalte Blanco	Ajuste del tono mediante variación de las coordenadas colorimétricas con esmalte color Blanco al caso numero 3							
1	20,82	0,30	-4,92	0,38	0,28	-0,65	0,80	Azul oscuro tenue
4	21,14	0,31	-5,32	0,06	0,27	-0,25	0,37	Azul
8	21,89	0,37	-5,93	-0,69	0,21	0,36	0,81	Azul claro tenue
Caso de contaminación numero 4								
CASO 4	21,67	0,06	-5,92	-0,47	0,52	0,35	0,78	Azul claro verdoso
% de adición de pigmento mazarine	Ajuste del tono mediante variación de las coordenadas colorimétricas con pigmento mazarine (Azul) en base de cobalto al caso numero 4							
0,2	21,35	0,23	-5,67	-0,15	0,35	0,10	0,39	Azul
0,5	21,18	0,42	-5,44	0,02	0,16	-0,13	0,21	Azul
1	20,86	0,64	-5,02	0,34	-0,06	-0,55	0,65	Azul
AJUSTE DEL TONO EN EL ESMALTE VERDE CIPRÉS RECOLECTADO								
Caso de contaminación numero 1								
CASO 1	Coordenadas colorimétricas			Diferencia entre coordenadas colorimétricas medidas y estándar			Diferencia de color ΔE^*	Observación visual respecto al estándar.
	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*		
	26,33	-8,74	-4,11	1,10	-0,66	-0,21	1,30	Verde Oscuro
% de adición de esmalte blanco	Ajuste del tono al color Verde Ciprés mediante variación de las coordenadas colorimétricas con esmalte Blanco, al caso numero 1							
5	27,08	-8,96	-4,16	0,35	-0,44	-0,16	0,58	Verde
10	27,41	-9,18	-4,19	0,02	-0,22	-0,13	0,26	verde
15	27,93	-9,42	-4,17	-0,50	0,02	-0,15	0,52	verde

Tabla 3.31. Ajuste de las coordenadas colorimétricas en los diferentes casos presentados del esmalte recolectado, para los esmaltes colores Azul Mediterráneo, Verde Ciprés, Merlot y Mora, **continuación.....**

Caso de contaminación numero 2								
CASO 2	28,42	-8,36	-4,61	-0,99	-1,04	0,29	1,46	Verde blanquizco
% de adición de pigmento Verde Ciprés	Ajuste del tono al color Verde Ciprés mediante variación de las coordenadas colorimétricas con pigmento Verde Ciprés, al caso numero 2							
0,5	28,22	-8,57	-4,67	-0,79	-0,83	0,35	1,20	Verde blanquizco
1,5	27,64	-8,77	-4,74	-0,21	-0,63	0,42	0,79	Verde
2	27,73	-9,08	-4,79	-0,30	-0,32	0,47	0,64	Verde

AJUSTE DEL TONO EN EL ESMALTE COLOR MERLOT RECOLECTADO									
CASO 1		Coordenadas colorimétricas			Diferencia entre coordenadas colorimétricas medidas y estándar			Diferencia de color ΔE^*	Observación visual respecto al estándar.
		L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*		
		26,33	-8,74	-4,11	1,10	-0,66	-0,21	1,30	Verde Oscuro
% de adición de pigmento Crinsom	% de adición de pigmento Coral	Ajuste del tono al color Merlot mediante variación de las coordenadas colorimétricas con pigmento Crimson y Coral pertenecientes a la clasificación de Rojos y Rosas							
1	0,2	26,11	9,62	2,76	0,13	1,00	0,51	1,13	Merlot oscuro
1,5	0,5	26,57	10,18	3,11	-0,33	0,44	0,16	0,57	Merlot
3	1	27,43	11,06	3,72	-1,19	-0,44	-0,45	1,35	Merlot claro

AJUSTE DEL TONO EN EL ESMALTE COLOR MORA RECOLECTADO										
CASO 1		Coordenadas colorimétricas			Diferencia entre coordenadas colorimétricas medidas y estándar			Diferencia de color ΔE^*	Observación visual respecto al estándar.	
		L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*			
		26,33	-8,74	-4,11	1,10	-0,66	-0,21	1,30	Verde Oscuro	
PASO 1										
% de adición de pigmento Crinsom	% de adición de pigmento Coral	% de esmalte Blanco	Ajuste del tono al color Mora mediante variación de las coordenadas colorimétricas con pigmento Crimson y Coral pertenecientes a la clasificación de Rojos y Rosas; y adición de esmalte color Blanco							
1,5	0,5	10	38,23	16,48	6,35	1,52	1,92	0,59	2,52	Mora oscuro
3	1,5	20	38,03	16,56	6,42	1,72	1,84	0,52	2,57	Mora oscuro
Adición del 50 % de esmalte color Mora virgen			PASO 2							
			39,68	17,64	6,37	0,07	0,76	0,57	0,75	Mora

Comparando las coordenadas colorimétricas de la tabla 3.31 de los diferentes casos de contaminación que se presentaron en la recolección de los esmaltes color Azul Mediterráneo, Verde Ciprés, Merlot y Mora, con las coordenadas colorimétricas estándares de la tabla 2.3 para cada color presentan un desvío que señalan tolerancias en las coordenadas fuera de las permitidas y se encuentran diferencias de color ΔE^* mayor que la unidad, presentando notables diferencias de color al ojo humano.

También se presenta un caso especial, el número cuatro del esmalte color Azul Mediterráneo, que aunque tiene la diferencia de color ΔE^* menor que la unidad se halla una notable diferencia visual entre el estándar y el esmalte, esto se debe a la diferencia en la coordenada Δa^* que tiene una tolerancia no permitida, $> \pm 0,5$ específicamente $\Delta a^* = 0,52$ presentando un desvío muy alto de esta coordenada hacia el color verde en el eje cromático (verde – rojo).

En todos los ajustes de tono realizados, excepto en el esmalte color Mora se llega al color requerido con la adición de pigmento o esmaltes según lo requerido en un solo paso. En el esmalte color Mora se realizó el ajuste en dos pasos, siendo el segundo paso la mezcla con un 50 % de esmalte virgen del mismo color de esmalte.

Para ajustar el tono de una forma fácil y segura se elaboró tablas, como la 3.32 que se diseñaron para cada color en base a los resultados de la tabla 3.31 y con datos del seguimiento por un periodo de cinco meses de ajustes, en los diferentes colores.

Tabla 3.32. Formularios para los casos presentados en el ajuste del tono de esmaltes color Azul Mediterráneo, Verde Ciprés, Merlot y Mora.

BASE: ESMALTE AZUL MEDITERRÁNEO RECOLECTADO				
Esmalte preparado				Fórmula de ajuste, porcentaje calculado en base a los KILOS SECOS DE ESMALTE PREPARADO
L*	a*	b*	Observación Visual	
21,34±0,19	-0,37±0,08	-4,62±0,25	Azul Verdoso	Esmalte Azul Cobalto recuperado.....20%
21,28±0,20	0,02±0,06	-4,57±0,21	Azul Oscuro verdoso	Esmalte Azul Cobalto recuperado.....10%
21,62±0,42	0,09±0,06	-5,80±0,29	Azul claro verdoso	Pigmento Mazarine.....0,5%
21,14±0,29	0,75±0,08	-4,57±0,14	Azul Claro rojizo	Esmalte Verde Ciprés.....4,5%
20,46±0,31	0,37±0,16	-4,62±0,39	Azul Oscuro	Esmalte Blanco.....3,5%
BASE: ESMALTE VERDE CIPRÉS RECOLECTADO				
Esmalte preparado				Fórmula de ajuste, en porcentaje calculado en base a los KILOS SECOS DE ESMALTE PREPARADO
L*	a*	b*	Observación Visual	
26,73 ± 0,20	-9,19 ± 0,21	-4,52 ± 0,23	Verde oscuro	Esmalte Blanco.....5,6%
26,62 ± 0,62	-8,58 ± 0,12	-4,43 ± 0,19	Verde oscuro	Esmalte Blanco.....8%
28,55 ± 0,32	-8,30 ± 0,17	-4,53 ± 0,27	Verde blanquizo	Pigmento Verde.....2%

Tabla 3.32. Formularios para los casos presentados en el ajuste del tono de esmaltes color Azul Mediterráneo, Verde Ciprés, Merlot y Mora, **continuación.....**

BASE: ESMALTE COLOR MERLOT RECOLECTADO					
Esmalte preparado				Observación Visual	Fórmula de ajuste, en porcentaje calculado en base a los KILOS SECOS DE ESMALTE PREPARADO
L*	a*	b*			
26,05 ± 0,32	8,69 ± 0,19	2,40 ± 0,13	Merlot Oscuro	Crimson1,7 % Coral.....0,84 %	
25,13 ± 0,19	8,10 ± 0,13	2,31 ± 0,13	Merlot Oscuro	Crimson2,1 % Coral..... 1,24 %	
25,93 ± 0,25	7,41 ± 0,19	3,11 ± 0,13	Merlot Oscuro	Crimson2,3 % Coral..... 1,24 %	
BASE: ESMALTE COLOR MORA RECOLECTADO					
Esmalte preparado				Observación Visual	Fórmula de ajuste, porcentaje calculado en base a los KILOS SECOS DE ESMALTE PREPARADO
L*	a*	b*			
38,02 ± 0,52	14,79 ± 0,55	5,67 ± 0,32	Mora Oscuro	Pigmento Crimson1,1 % Pigmento Coral.....0,1 % Esmalte Blanco.....10 %	
38,35 ± 0,25	12,71 ± 0,28	3,60 ± 0,30	Mora Oscuro	Pigmento Crimson2,6 % Pigmento Coral.....1,5 % Esmalte Blanco.....20 %	
PASO 2: MEZCLA CON 50 % DE ESMALTE VIRGEN DEL MISMO COLOR MORA					

El formulario presentado en la tabla 3.32 presenta límites de trabajo que cumplen con la tolerancia y han sido calculados en base a las cargas preparadas durante un periodo de 5 meses desde el inicio de la recuperación del tono. Estos límites de confianza presentados en las coordenadas corresponden al 95 % para cada fórmula el cual es calculado con la teoría para muestras pequeñas de student, el cálculo se presenta en el ANEXO IV.

3.5.1.2 Resultados de las pruebas térmicas de dilatométrica en los esmaltes ajustados el tono.

Tabla 3.33. Diferencia del coeficiente de dilatación entre la barbotina cerámica y los esmaltes recuperados el tono; y la comparación con el rango permitido por la empresa.

	Dilatograma	Coficiente promedio de expansión α ($1E - 6$ in/in $^{\circ}C$) a 500 $^{\circ}C$	Diferencia matemática entre coeficientes promedios de expansión ($\alpha_{B19C} - \alpha_{\text{esmalte recuperado}}$) a 500 $^{\circ}C$	Rango permitido en la diferencia de coeficientes a 500 $^{\circ}C$ *
Soporte cerámico	B19C	7,20		
Azul Mediterráneo	AM RECUPERADO + 20% Azul Cobalto recuperado	5,97	1,23	0,5 > α < 1,5
	AM RECUPERADO + 0,5 % de pigmento Azul	6,07	1,13	
Verde Ciprés	CI RECUPERADO + 2 % pigmento Verde.	6,00	1,20	
Merlot	ME RECUPERADO ajustado con (1,7 % de pigmento Crimson + 0,84 % de pigmento Coral)	6,25	0,95	
	ME RECUPERADO ajustado con (2,1 % de pigmento Crimson + 1,24 % de pigmento Coral)	5,97	1,23	
Mora	MO RECUPERADO ajustado con (1,1 % de pigmento Crimson + 0,1 % de pigmento Coral + 10 % esmalte Blanco + 50 % esmalte Mora virgen)	5,95	1,25	
	ME RECUPERADO ajustado con (2,6 % de pigmento Crimson + 1,5 % de pigmento Coral + 20 % esmalte Blanco + 50 % esmalte Mora virgen)	5,80	1,40	

*Norma de la empresa F.V

Los resultados de la diferencia de los coeficientes promedios de expansión (ACE) de la barbotina del cuerpo cerámico y el esmalte Gris recuperado se encuentra dentro del rango permitido por la empresa, lo que evidencia que el esmalte recolectado y ajustado el tono con esmaltes y pigmentos no tiene problemas de craquelado, ($\alpha < 0,5$), ni roturas, ($\alpha > 1,5$). Esto es evidenciado en la producción,

porque no presentó estas fallas en el producto, lo que permite acotar que el pigmento y el esmalte utilizado para ajustar el tono, no afectó la base química del esmalte.

3.5.1.3 Resultados de las pruebas del ataque químico Acido-Base en los esmalte recuperados el tono.

Tabla 3.34. Diferencia de color ΔE^* después del ataque químico con una solución del 10% de ácido Clorhídrico e Hidróxido de Sodio en los esmaltes recuperados el tono.

COLOR DEL ESMALTE	EVALUACIÓN COLORIMÉTRICA DESPUÉS DEL ATAQUE QUÍMICO				
	Solución de ácido Clorhídrico al 10 %		Solución de Hidróxido de Sodio al 10 %		
	Pieza	ΔE^*	Pieza	ΔE^*	
Azul Mediterráneo	1	0,76	1	1,38	
	2	0,69	2	0,57	
	3	0,27	3	0,15	
	4	0,64	4	0,57	
	Promedio ΔE^* HCl		0,59	Promedio ΔE^* KOH	
				0,66	
Verde Ciprés	Pieza	ΔE^*	Pieza	ΔE^*	
	1	0,70	1	0,25	
	2	0,34	2	0,33	
	3	0,19	3	0,31	
	4	0,33	4	0,34	
	Promedio ΔE^* HCl		0,39	Promedio ΔE^* KOH	
			0,31		
Merlot	Pieza	ΔE^*	Pieza	ΔE^*	
	1	0,56	1	0,42	
	2	0,50	2	0,6	
	3	0,44	3	0,62	
	4	0,50	4	0,65	
	Promedio ΔE^* HCl		0,5	Promedio ΔE^* KOH	
			0,57		
Mora	Pieza	ΔE^*	Pieza	ΔE^*	
	1	0,86	1	0,61	
	2	0,69	2	0,79	
	3	0,61	3	0,69	
	4	0,66	4	0,60	
	Promedio ΔE^* HCl		0,71	Promedio ΔE^* KOH	
			0,67		
Negro	Pieza	ΔE^*	Pieza	ΔE^*	
	1	0,16	1	0,13	
	2	0,20	2	0,30	
	3	0,12	3	0,28	
	4	0,16	4	0,32	
	Promedio ΔE^* HCl		0,16	Promedio ΔE^* KOH	
			0,26		

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 3.34, los esmaltes recuperados Azul Mediterráneo, Verde Ciprés, Merlot, Mora y Negro son resistentes al ataque químico Ácido-Base, mostrando una diferencia de color ΔE^* menor que la unidad siendo de esta manera un esmalte apto para producción. Es así que la inspección al tacto muestra una superficie totalmente lisa y un buen brillo, es decir no presentan ningún cambio en la superficie.

3.5.1.4 Resultados de las pruebas del Absorción de agua en los esmaltes recuperados el tono.

Tabla 3.35. Resultados de la prueba de absorción de agua realizada a los esmaltes recuperados el tono y enviados a producción.

Tipo de pieza	Color	Peso seco	Peso húmedo	% Absorción	Promedio	Límite permisible*
IFZ**	AM	77,22	77,50	0,36	0,35	< 0,5 %
		80,10	80,40	0,37		
		71,68	71,90	0,31		
IFZ**	CI	75,36	75,63	0,36	0,36	
		86,12	86,44	0,37		
IFZ**	ME	77,48	77,79	0,40	0,33	
		71,88	72,09	0,29		
		78,35	78,59	0,31		
IFZ**	MO	62,60	62,75	0,24	0,20	
		78,63	78,77	0,18		
		73,54	73,68	0,19		
IFZ**	NE	75,34	75,59	0,33	0,38	
		82,84	83,15	0,37		
		82,81	83,16	0,42		

*Norma de la fábrica F.V; **Inodoro Fidenza

Los resultados de las pruebas de Absorción de agua presentados en la tabla 3.35 muestran que el esmalte recuperado presenta un porcentaje de absorción de agua por debajo del 0,5 % que es el máximo permitido para porcelana sanitaria, lo que demuestra que el esmalte es apto para producción.

3.5.1.5 Resultados de la cantidad de esmaltes recuperado y comparación antes y después del proyecto.

Tabla 3.36. Tipo de materia prima utilizada en la fabricación de esmalte desde enero (2008) hasta agosto (2008).

Mes	TIPO DE MATERIA PRIMA CONSUMIDO EN LA FABRICACIÓN DE ESMALTE*		
	Kg secos de esmalte Virgen	Kg secos de esmalte Recuperado	Kg secos totales esmalte producido (Virgen + Recuperado)
Enero	6232,66	0,00	6232,66
Febrero	8420,68	0,00	8420,68
Marzo	11053,70	0,00	11053,70
Abril	6652,00	1446,41	8098,41
Mayo	5273,49	465,84	5739,33
Junio	6382,38	4526,74	10909,12
Julio	6779,47	4015,22	10794,69
Agosto	7915,83	5689,44	13605,27
TOTAL	58710,21	16143,65	74853,86

*Fuente: Archivo de registros diarios de F.V, sección fabricación de esmaltes

La tabla 3.36 presenta un registro de producción de materia prima en un periodo de ocho meses, los primeros tres meses corresponden antes de la aplicación del proyecto y los cinco siguientes a luego de la aplicación del proyecto de reciclaje como se aprecia en la figura 3.15

En el periodo de aplicación del proyecto se ha logrado recuperar un total de 16143,65 Kilos secos de esmalte que antes se consideraba residuo en los esmaltes de colores fuertes, y este valor representa un 32,85 % de producción total de este tipo de colores.

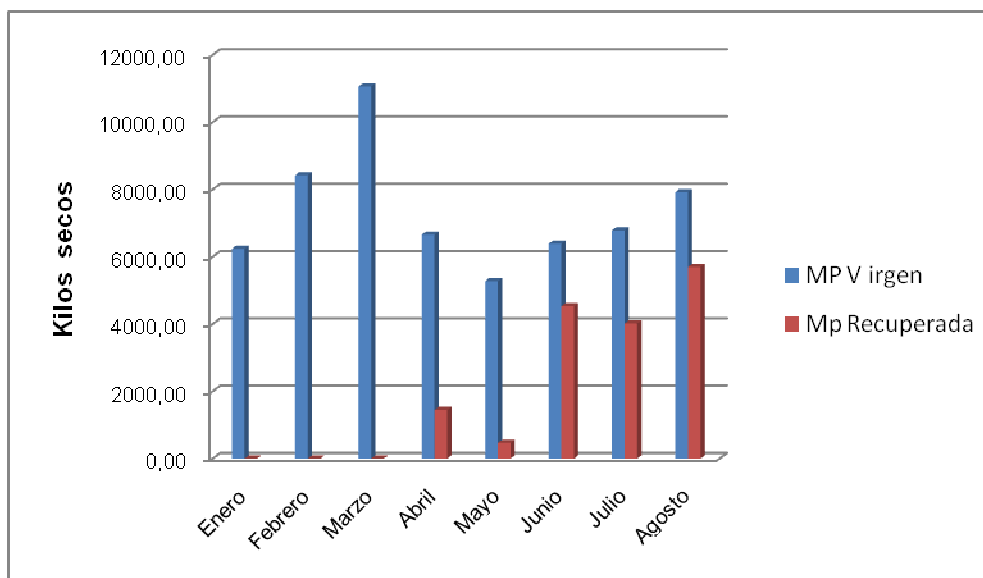


Figura 3.15. Producción de esmalte a partir del tipo de materia prima (MP)

En la figura 3.15 se observa claramente cómo influye el proyecto y el remplazo de materia prima virgen por esmalte recuperado que a más de beneficios económicos también proporciona beneficios al medio ambiente.

3.5.2 RESULTADOS DE RECUPERACIÓN A UN TONO DE PRODUCCIÓN, DE LOS ESMALTES RECOLECTADOS, QUE PRESENTAN UN ALTO GRADO DE CONTAMINACIÓN EN EL TONO.

3.5.2.1 De colores fuertes

En la tabla 3.37 se presentan los resultados de las coordenadas medidas en dos cargas preparadas de esmalte de colores fuertes contaminados según la metodología mencionada en la sección 2.5.2.1 del capítulo 2, observando que estas coordenadas son diferentes de una carga a otra en gran magnitud, representado por un ΔE^* mayor que la unidad y de muy diferente valor entre las dos cargas. La observación visual presenta un notable cambio con respecto al estándar.

Tabla 3.37. Mediciones colorimétricas y observación visual de las cargas preparadas según la metodología propuesta en colores fuertes con un alto grado de contaminación.

N° Carga de esmalte preparada	coordenadas colorimétricas			Diferencia de color ΔE^* respecto al estándar (AM)	Característica visual respecto al estándar (AM)
	L*	a*	b*		
1	21,25	-1,635	-3,89	2,78	Azul Verdoso
2	24,45	-2,63	-3,54	5,00	Azul Verdoso

Tabla 3.38. Comportamiento de las coordenadas colorimétricas al añadir diferentes porcentajes de esmalte Azul Cobalto recuperado a la carga 1.

% de esmalte Azul Cobalto (AO) recuperado	Coordenadas colorimétricas			Diferencia entre coordenadas colorimétricas medidas y estándar			Diferencia de color ΔE^*	Característica visual respecto al estándar
	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*		
20%	21,28	-0,84	-3,90	-0,08	1,42	-1,67	2,19	Azul Verdoso
40%	21,21	-0,16	-3,98	-0,01	0,74	-1,59	1,75	Azul Verdoso
50%	21,61	0,31	-5,23	-0,41	0,27	-0,34	0,60	Azul

La diferencia de color ΔE^* disminuye directamente al aumentar la adición del esmalte Azul Cobalto recolectado, hasta llegar a un valor menor que la unidad como lo muestra la tabla 3,38, y las coordenadas se acercan al estándar del esmalte Azul Mediterráneo. En la observación visual, no existe diferencia de color notable al ojo humano, al 50 % de adición de AO recolectado.

La carga número 2 presentada en la tabla 3.37 tiene otras características de contaminación en el tono, especialmente en la coordenada L* que es más luminosa respecto a la carga 1 y al estándar del esmalte Azul Mediterráneo presentado en la tabla 2.3.

Tabla 3.39. Comportamiento de las coordenadas colorimétricas al añadir 50% de esmalte Azul Cobalto a la carga número 2.

% de esmalte Azul Cobalto recuperado	Coordenadas colorimétricas medidas			Diferencia entre coordenadas colorimétricas medidas y estándar			Diferencia de color ΔE^*	Característica visual respecto al estándar.
	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*		
50%	24,86	-0,93	-4,71	-3,66	1,51	-0,86	4,05	Azul Verdoso

La adición del esmalte Azul Cobalto recolectado, mantiene prácticamente el mismo valor de la coordenada L* como lo muestran los resultados de la tabla 3.39 comparada con la coordenada L* de la carga 2 antes mencionada, por lo que no es aplicable de una forma efectiva a la carga 2, en la que el principal problema es la alta luminosidad presente, proporcionada por la coordenada L*.

Tabla 3.40. Comportamiento de las coordenadas colorimétricas al añadir 1% de pigmento mazarine (Azul) a la carga número 2.

% de pigmento Azul	Coordenadas colorimétricas medidas			Diferencia entre coordenadas colorimétricas medidas y estándar			Diferencia de color ΔE^*	Característica visual respecto al estándar.
	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*		
1%	21,47	0,37	-4,98	-0,27	0,21	-0,59	0,68	Azul Verdoso

La adición del 1 % de pigmento mazarine (Azul), disminuye la luminosidad L* en el esmalte de la carga número 2 presentadas en la tabla 3.37 esto se observa en la variación de la coordenada L* hacia el color negro en el eje luminoso (negro – blanco). Por lo tanto para esmaltes que presenten este tipo de desviaciones en las coordenadas colorimétricas, lo mejor es tratarlos con pigmento Azul, para el ajuste del tono.

Las coordenadas colorimétricas de las cargas 1 y 2 presentadas en la tabla 3.37 constituyen los casos más probables de contaminación en la preparación de estos esmaltes. Para mejorar y agilizar el ajuste del tono, se propuso un método general para la preparación de estos esmaltes, indicado en la figura 3.16.

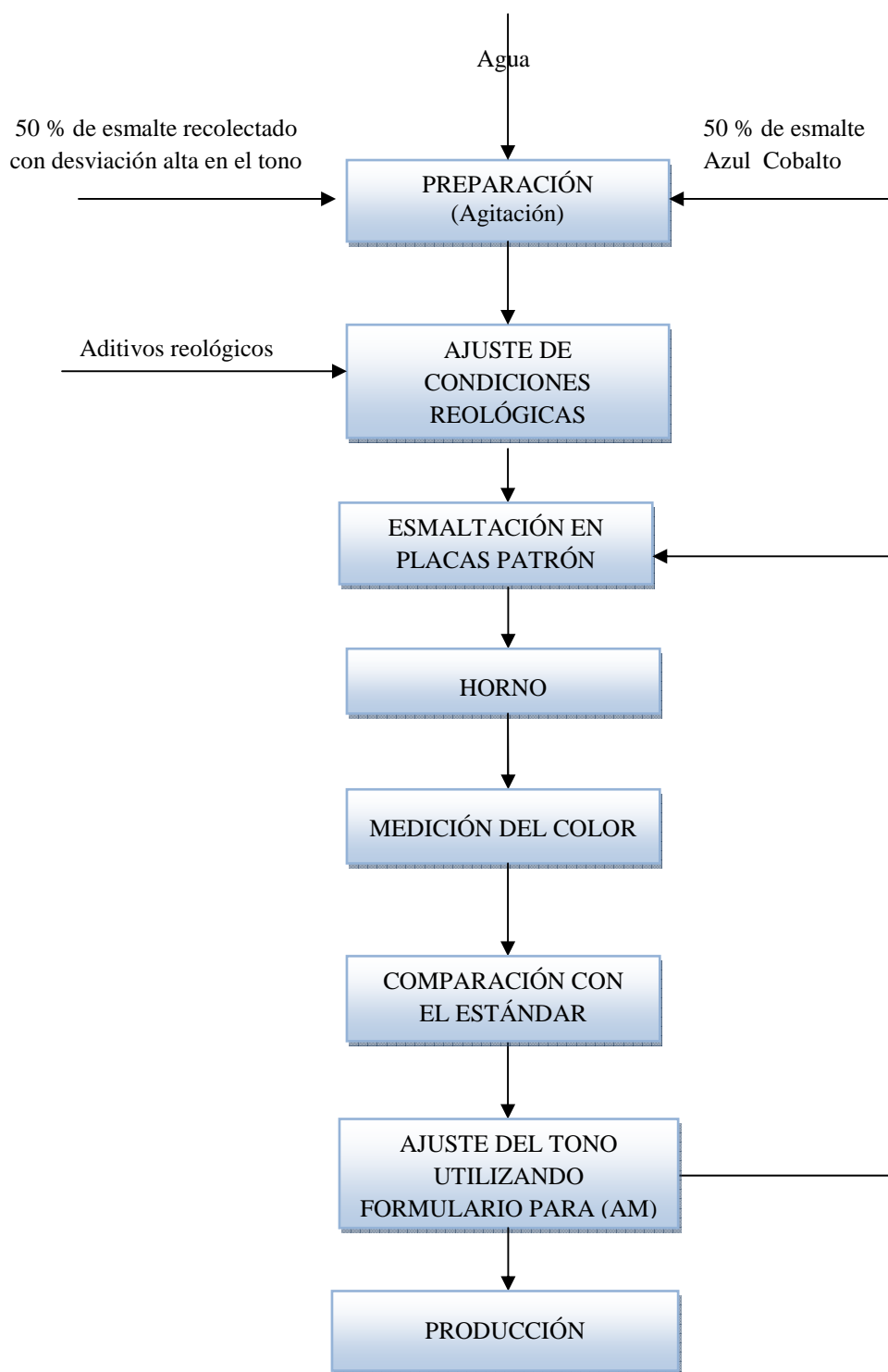


Figura 3.16. Metodología para la preparación y ajuste del tono de esmaltes recolectados con un alto grado de contaminación en el tono

La metodología aplicada tiene como objetivo utilizar el formulario presentado en la tabla 3.32 para ajustar el tono del esmalte Azul Mediterráneo recolectado con una baja contaminación en el tono, a este tipo de esmaltes con una alta contaminación en el tono.

Utilizando la metodología presentado en la figura 3.16, se ha recuperado el tono del esmalte con una alta contaminación al esmalte Azul Mediterráneo, la cuantificación de este esmalte se presenta en la tabla 3.41.

Tabla 3.41. Kilos secos de esmalte recuperado aplicando la metodología presentada en la figura 3.27 en esmaltes de colores fuertes con un alto grado de contaminación en el tono.

Número de carga preparada	Esmalte seco recuperado (Kg)
1	410,45
2	348,08
3	343,10
TOTAL	1101,63

La tabla 3.41 presenta un total de 1101, 63 kilos secos de esmalte Azul Mediterráneo, recuperado a partir de esmaltes con un alto grado de contaminación provenientes de las bandeja posterior de la cabina y las paredes, aplicando la metodología propuesta.

3.5.2.2 De colores pasteles

Tabla 3.42. Mediciones colorimétricas y observación visual de las cargas preparadas en colores pasteles con un alto grado de contaminación.

N° Carga de esmalte	coordenadas colorimétricas			Diferencia de color ΔE^* respecto al estándar Gris	Característica visual respecto al estándar (GR)
	L*	a*	b*		
1	75,27	0,68	2,17	1,17	gris amarillento
2	73,21	0,27	2,77	3,24	Gris oscuro amarillento
3	81,39	1,05	2,30	5,43	Blanco rojizo
4	75,63	0,04	3,36	2,21	Gris verdoso

Los esmaltes de colores pasteles tienen una alta claridad, representada por la coordenada L^* cercana al valor 100, que es el máximo valor de luminosidad y pertenece al color blanco, esto los hace muy sensibles a ser contaminados con otro esmalte, representado por una variación alta de sus coordenadas colorimétricas y consecuente aumento de la diferencia de color ΔE^* como lo muestra la tabla 3.42.

Por la sensibilidad presentada, se realiza un estudio del comportamiento de los esmaltes contaminados en colores pasteles con los pigmentos utilizados para prepararlos a muy bajas concentraciones, esto en base a la guía de las formulaciones para obtener los diferentes colores de producción a partir de una base de esmalte blanco. Este estudio se enfoca a obtener el esmalte color Gris (GR) y con ello se obtuvo un formulario para diferentes casos que se presentan en la recolección, que se los representa en la tabla 3.43.

Tabla 3.43. Formulario para los casos presentados para ajustar el tono del esmalte color Gris recuperado.

BASE: ESMALTES PASTELES RECOLECTADOS				
Esmalte preparado				Fórmula de ajuste, en porcentaje calculado en base a los KILOS SECOS DE ESMALTE PREPARADO
L*	a*	b*	Observación Visual respecto al Gris estándar	
73,21	0,27	2,77	Gris oscuro amarillento	Esmalte Blanco.....50 % Pigmento Mazarine Azul.....0,01 % Pigmento Coral.....0,11 % Pigmento Gris Pizarra.....0,03 %
75,27	0,68	2,17	Gris oscuro	Esmalte Blanco.....40 % Pigmento Mazarine Azul.....0,013 % Pigmento Coral.....0,19 % Pigmento Gris Pizarra.....0,03 %
77,11	0,18	1,94	Gris azulado	Pigmento Mazarine Azul.....0,01 % Pigmento Coral.....0,10 % Pigmento Gris Pizarra.....0,03 %
77,33	0,90	1,93	Gris Claro amarillento	Pigmento Gris Pizarra.....0,02 %
73,93	1,16	2,28	Gris amarillento	Esmalte Blanco..... .50 % Pigmento Mazarine Azul.....0,01 %
72,96	1,13	1,23	Gris oscuro	Esmalte Blanco.....50 %
79,05	1,58	1,57	Gris blanquizco-rojizo	Pigmento Gris Manhattan.....0,25 % Pigmento Turqueza.....0,05 % Pigmento Gris Pizarra.....0,02 %
77,12	0,66	1,30	Gris claro	Pigmento Gris Manhattan.....0,12 %
81,39	1,05	2,30	Blanco amarillento	Pigmento Gris Manhattan.....0,15 % Pigmento Azul Cerdec.....0,01 % Pigmento Gris Pizarra.....0,03 %
78,62	0,77	1,40	Gris Blanquizco	Pigmento Gris Manhattan.....0,20 %
76,62	0,02	0,05	Verde azulado	Pigmento Coral.....0,11 %

El formulario presentado en la tabla 3.43 se realizó de acuerdo a los estudios de cargas contaminadas en la cabina y varias muestras contaminadas a intención, con la finalidad de obtener la mayor cantidad de casos de contaminación que se

pueden dar con estos esmaltes. Como se observa estos esmaltes no llevan rangos de confianza en sus coordenadas, esto se debe a que los esmaltes de colores pasteles son muy sensibles al mínimo cambio de las coordenadas que se presenta especialmente en la observación visual.

- **Análisis Dilatométrico del esmalte Gris (GR) recuperado**

Se realiza el análisis dilatométrico de un esmalte que se encuentra ajustado el tono al color Gris (GR). En el ANEXO V se encuentran los datos necesarios para la construcción de la curva y las condiciones en que se realizó el análisis.

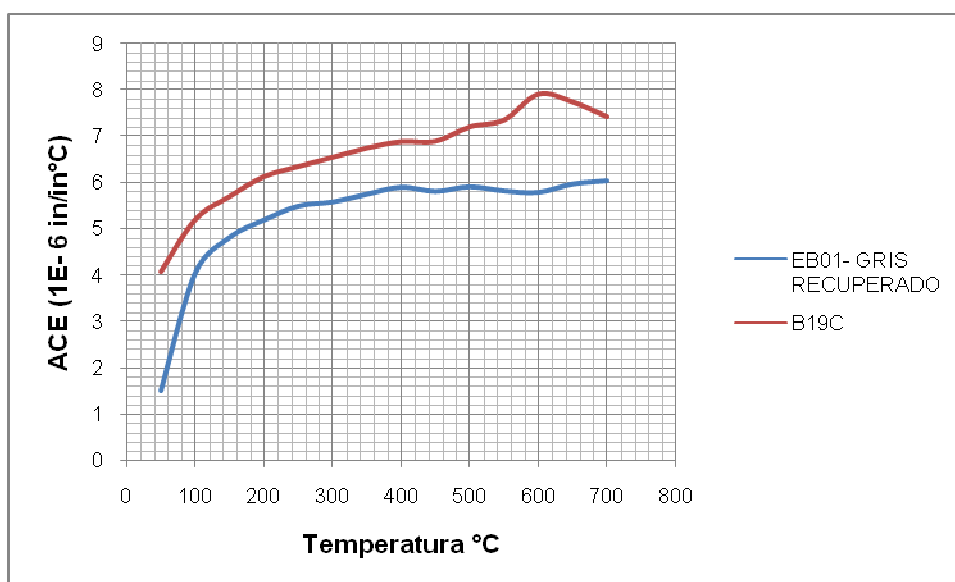


Figura 3.17. Dilatogramas del esmalte Gris recuperado (EB01 – GRIS) y la barbotina del cuerpo cerámico.

Tabla 3.44. Diferencia matemática de los coeficientes promedio de expansión (ACE) entre la barbotina cerámica y el esmalte Gris recuperado, y comparación con el rango permitido por la empresa.

Dilatograma	Coeficiente de dilatación α (1E - 6 in/in°C) a 500 °C	Diferencia de coeficientes (B19C - EBO1- GR RECUPERADO) a 500 °C	Rango permitido de la diferencia de coeficientes A 500 °C*
B19C	7,2	1,28	0,5 > α < 1,5
EB01- GRIS RECUPERADO	5,92		

*Norma de la empresa F.V

Los resultados de la diferencia de los coeficientes promedios de expansión (ACE) de la barbotina del cuerpo cerámico y el esmalte Gris recuperado se encuentra dentro del rango permitido por la empresa, lo que evidencia que nuestro esmalte recolectado y ajustado el tono, no tiene problemas con craquelado ($\alpha < 0,5$), ni roturas, ($\alpha > 1,5$).

Tabla 3.45. Diferencia de color ΔE^* después del ataque químico con una solución al 10% de Ácido Clorhídrico e Hidróxido de Sodio.

MEDICIÓN COLORIMÉTRICA DEL ATAQUE QUÍMICO			
Solución de ácido Clorhídrico al 10 %		Solución de Hidróxido de Sodio al 10 %	
Pieza	ΔE^*	Pieza	ΔE^*
1	0,65	1	0,33
2	0,34	2	0,41
3	0,38	3	0,58
4	0,53	4	0,62
Promedio ΔE^* HCl	0,48	Promedio ΔE^* KOH	0,49

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 3.45, el esmalte color Gris recuperado es resistente a la sustancia ácida y básica ya que el ΔE^* es menor que la unidad, existiendo una constancia de color. La inspección al tacto muestra una superficie totalmente lisa, no presentan ningún cambio en la superficie sometidas a las soluciones del 10 % de Ácido Clorhídrico e Hidróxido de Sodio respectivamente.

- **Resultados de las pruebas de Absorción de agua realizadas al esmalte Gris recuperado.**

Tabla 3.46. Resultados de la prueba de absorción de agua realizada a una carga de esmalte color Gris recuperado y enviado a producción.

Tipo de pieza	Color	Peso seco	Peso húmedo	% Absorción	Promedio
IFZ	GR	79,39	79,78	0,49	0,49
		88,62	89,04	0,47	
		88,00	88,45	0,51	

El esmalte recolectado y recuperado, presenta un porcentaje de absorción de agua por debajo del 0,5 % que es el máximo permitido, lo que demuestra que el esmalte Gris recuperado cumple con la norma y es apto para producción.

Aplicando el formulario de la tabla 3.43 se recuperó esmaltes con un alto grado de contaminación en el tono, lo que se cuantifica en la tabla 3.47.

Tabla 3.47. Kilos secos de esmalte recuperado aplicando el formulario de la tabla 3.43 para recuperar esmaltes contaminados en colores pasteles.

Número de cargas preparadas	Esmalte seco recuperado al tono Gris (Kg)
1	387,00
2	398,00
3	397,00
4	378,00
TOTAL	1560,00

En total se ha reutilizado 1560 Kilos de esmalte recolectado para la producción de esmalte color Gris. Este esmalte proviene de las paredes de la cabina, bandeja posterior y purgas con un alto grado de contaminación en el tono.

3.6 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

3.6.1 COSTO DEL ESMALTE RECUPERADO

Tabla 3.48. Costo total del esmalte recolectado desde el mes de Abril hasta Agosto del 2008.

Tipo de esmalte recuperado	Color del esmalte recuperado	Total de esmalte recuperado (Kg)	Costo de la materia prima (USD)	Costo del fabricación (USD)	Costo total recuperado (USD)
Esmaltes con una contaminación baja en el tono	Azul mediterráneo	6950,14	3622,06	3342,61	6964,67
	Ciprés	4389,02	2287,33	2110,86	4398,20
	Merlot	1708,92	890,60	821,89	1712,49
	Mora	604,31	314,94	290,64	605,57
	Negro	2491,26	1298,32	1198,15	2496,47
Esmalte con una alta contaminación en el tono	Azul mediterráneo	1101,63	574,11	529,82	1103,93
	Gris	1560,00	812,99	750,27	1563,26
TOTAL		18805,28	9800,35	9044,25	18844,60

En la tabla 3.48 se presenta el costo total de esmalte recuperado hasta el mes de agosto, que alcanza los 18844,60 USD.

3.6.2 COSTO DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN Y REUTILIZACIÓN

Tabla 3.49. Costo total del ajuste del tono de los esmaltes desde el mes de Abril hasta Agosto del 2008.

Color de esmalte recuperado	Costo de ajuste con pigmento por Kilo seco de esmalte recuperado (USD/Kg)	Esmalte seco ajustado el tono con pigmentos (Kg)	Costo en los cinco meses de recuperación
CI	0,40	1137,70	453,43
AM	0,17	1239,14	210,65
ME	0,32	1708,92	543,75
MO	0,15	604,31	91,02
NE	0,00	0,00	0,00
TOTAL COSTO AJUSTE DEL TONO			1298,85

El costo total de ajuste en 5 meses representa 1298,85 USD, que es una cantidad pequeña en comparación con el costo recuperado en la materia prima presentado en la tabla 3.48.

3.6.3 GANANCIA

La diferencia entre el costo del esmalte recuperado y el ajuste del tono, representa la ganancia evaluada durante un periodo de cinco meses, este valor es:

$$\text{Ganancia} = 18844,60 - 1298,85 = \mathbf{17545,75 \text{ (USD)}}$$

La ganancia obtenida en el periodo de cinco meses representa un valor muy alto, esto se debe a la alta cantidad de esmalte recolectado y recuperado especialmente en los colores fuertes.

Este valor da un promedio mensual de 3509,15 USD, lo que hace que el proyecto sea viable para realizar la inversión en el equipo necesario.

3.6.4 RETORNO SOBRE LA INVERSIÓN

Tomando la ecuación 2.7 se evalúa el retorno sobre la inversión real en los cinco meses.

Este valor corresponde al 53,17 %, esto quiere decir que falta por cubrir el 46,83 % de la inversión realizada y que se pagará absolutamente dentro de un periodo de 5 meses más, al mismo ritmo de producción.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

1. Se presenta contaminación de esmalte sólo en las cabinas número 4 y 6, que corresponden a la esmaltación de 6 colores pasteles en la cabina 4, y 6 colores fuertes en la cabina 6.
2. Se realizaron cambios organizativos en el área de Programación del Control de la Producción (PCP), cambiando la metodología para diseñar los programas semanales, en base a los resultados del estudio de influencia en el tono entre los esmaltes involucrados, con el objetivo que el efecto de la contaminación en el tono, disminuya.
3. Se realizaron cambios organizativos en el área de fabricación de esmaltes, cambiando el sistema de programación semanal de las pruebas de aprobación de bach.
4. La organización adecuada y el cumplimiento de las indicaciones, permitió obtener la menor cantidad de casos en la contaminación del tono al final de la recolección, obteniendo un control en el ajuste del tono por medio de fórmulas establecidas, y lo que es más importante que estas fórmulas sean permanentes en el tiempo.
5. Se implementó un sitio para la recolección del esmalte, que se adecuó y se colocó los instrumentos necesarios para esto, y se diseñaron tablas que permitan su clasificación y deposición en un determinado lugar.
6. La cantidad de esmalte contaminado en el tono recolectado, durante un mes de producción normal se encontró que es un total de 3944,1 Kg secos de esmalte, representando un porcentaje del 74,9% para los colores fuertes y el 25,1% para los colores pasteles, lo que indica que la mayor cantidad de esmalte a ser recuperado será de los colores fuertes.

7. Se dejó de enviar estos esmaltes a destinos como confinamiento en bodegas con el calificativo de material en desuso, evitando el aumento del volumen en la piscina de tratamiento y los lodos.
8. La medida de la humedad en las fracciones de pérdida, indicaron que el esmalte recolectado se encuentra de diferentes formas: semi-secos y líquidos. Comparando con la humedad requerida para producción, que en promedio es del 31,5 %, los esmaltes de las paredes tienen una deficiencia de agua mientras los esmaltes procedentes de las purgas y la bandeja presentan un exceso de agua.
9. La caracterización del color en las diferentes fracciones de pérdida, mediante la medición de las coordenadas CIE*L*a*b* en el esmalte recolectado, demostró que existen esmaltes recolectados que tienen una baja contaminación en el tono, otros tienen una alta contaminación y otros que no la tienen determinado por la cuantificación de ΔE^* y la evaluación visual.
10. Los esmaltes que presentan una baja contaminación en el tono pertenecen a los colores fuertes y representan el 93.4 % de los esmaltes provenientes de las paredes de la cabina, excepto el color Negro, y los de alta contaminación representa al 6,6 %.
11. Por medio de la cuantificación de la diferencia de color, se determinó que todos los colores evaluados excepto el esmalte color Negro, presentan un $\Delta E^* > 1$, con una tolerancia fuera de las especificaciones permitidas a la desviación de las coordenadas, en diferencia con el estándar, y evaluados visualmente presentaron una diferencia notable al ojo humano. El esmalte color Negro no necesita un ajuste de tono por cumplir con $\Delta E^* < 1$ y las tolerancias sugeridas.
12. El esmalte Azul Mediterráneo recolectado se procedió a ajustar su tono con diversos elementos: los verdosos con esmalte color Azul cobalto y los rojizos se ajustan con pigmento Azul que mantienen la luminosidad dentro de los rangos tolerables y llevando a las coordenadas cromáticas a* y b* hacia los estándares con resultados cuantitativos y visuales óptimos.

Cuando presentó casos de baja luminosidad, se ajustó el tono con ayuda de esmalte color blanco, el cual aumenta la claridad del esmalte con un aumento en valor de la coordenada L^* y un menor efecto en las coordenadas cromáticas.

13. En el esmalte color Verde Ciprés recolectado respecto al estándar de coordenadas se procedió a ajustar su tono con diversos elementos, si la luminosidad es baja con esmalte color Blanco que aumenta en poco, el porcentaje de luminosidad y la coordenada b^* hacia el color amarillo dentro de lo tolerable y aumenta la coordenada cromáticas a^* hasta acercarla el estándar obteniendo tolerancia dentro de los rangos con un resultado cuantitativo y visual óptimo, y si la luminosidad es alta se ajustan con pigmento Verde que disminuye la luminosidad hasta los rangos tolerables y llevando a las coordenadas cromáticas a^* y b^* hacia el estándar especialmente a^* , con resultados cuantitativos y visual óptimos.
14. El esmalte color Merlot recolectado presenta un solo caso respecto al estándar de coordenadas, éste es: obscuridad en el tono respecto al estándar en este caso se procedió a ajustar el tono con pigmentos de la familia rojos y rosas llamados comercialmente Coral y Crimson los cuales aumentan la claridad L^* , aumentan las coordenadas cromáticas a^* y b^* hacia el color rojo y amarillo respectivamente hasta acercarle al estándar.
15. El esmalte color Mora recolectado presentó un solo caso de desviación respecto al estándar de coordenadas CIEL a^*b^* 39,75/18,40/6,94, éste es: obscuridad en el tono aquí se procedió a ajustar el tono con pigmentos de la familia rojos y rosas, y esmalte color blanco los cuales aumentan la claridad L^* , aumentan las coordenadas cromáticas a^* y b^* hacia el color rojo y amarillo respectivamente, obteniendo como resultado un color cuantitativa y visualmente igual al estándar.
16. El esmalte Azul Cobalto recolectado fue recuperado como parte del esmalte Azul Mediterráneo, en el que se desempeña como corrector del tono, de modo que no se necesita recuperarlo por separado, además que

- la cantidad recolectada es muy pequeña por ser uno de los colores de esmalte de menor producción.
17. Los esmaltes que tienen una alta contaminación en el tono de colores fuertes y pasteles, fueron recuperados a los colores Azul Mediterráneo y Gris respectivamente, esta decisión se tomó en función de que estos son los colores más demandados y a la vez presentaron una mayor facilidad en las coordenadas del esmalte contaminado.
 18. Las pruebas térmicas realizadas al esmalte final, demostraron que el pigmento y el esmalte añadido para ajustar el tono del esmalte, no han afectado las propiedades del mismo o no se ha alterado su composición química o simplemente fue tan pequeña esa alteración que no tuvieron un efecto perjudicial en el esmalte recolectado, ésto se confirmó con la cuantificación de la diferencia realizada entre los coeficientes promedios de expansión (α) entre la base de la barbotina y el esmalte recuperado a 500°C, obteniéndose todos los resultados dentro del rango permitido por la empresa ($0,5 > \alpha < 1,5$), visualizando ésto en el producto final, con la ausencia de craquelados y roturas.
 19. El ataque químico ácido-base realizado, demostró que el esmalte recuperado presenta un alto grado de resistencia a los ácidos y bases, ésto se debe a que como el pigmento y el esmalte no han afectado la composición básica del esmalte, el esmalte recuperado mantiene las mismas propiedades ya probadas en un esmalte virgen.
 20. El esmalte recuperado presenta una absorción de agua menor que el 0,5%, que es la norma adoptada por la empresa y requerida para porcelana en general, demostrando que logramos una buena resistencia a los agentes atmosféricos.
 21. El costo del ajuste del tono resultó ser de 1298,85 USD cuando se utilizan pigmentos en el periodo de cinco meses, este valor puede variar según se realice el ajuste con pigmentos o esmaltes, tomando en cuenta que con esmaltes el costo del ajuste es cero.

22. La ganancia real evaluada en cinco meses de recuperación del esmalte es de 17545,75 USD

23. Se ha pagado el 53,17 % de la inversión realizada en los cinco meses evaluados y al mismo ritmo de producción, se prevé que la inversión se pagará en el transcurso de 5 meses más.

4.2 RECOMENDACIONES

1. Cumplir con todas las indicaciones para el diseño de los programas del control de la producción y realización de pruebas como se ha sugerido en el transcurso del proyecto, para mantener la permanencia en el tiempo de los formularios diseñados para ajustar el tono.
2. Siempre mantener limpio el sitio adecuado para la recolección, y supervisar frecuentemente a los operarios encargados de hacerlo, por ser un nuevo proceso implementado hasta que se encuentren familiarizados con él.
3. Realizar un estudio para reducir los límites de tolerancia de color existentes en las coordenadas estándares propuestos por la empresa para la producción, pues tienen una norma establecida de $\Delta E^* < 1,5$ para aceptación en los esmaltes preparados, ésto en algunos casos presenta notables diferencias de color al ojo humano que en piezas grandes y que conforman juegos puede presentar esta anomalía. Se recomienda trabajar con un $\Delta E^* < 1$ como se lo realizó en este trabajo y que está basado en criterios experimentales.
4. Se puede realizar una recolección final del agua de lavado de los tachos de envío a producción, mezcladores, tanques de almacenamiento, agitadores y reutilizar en la preparación de los esmaltes con una alta contaminación en el tono para proceder a la recuperación del color.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acevedo, D., 2008, "Evaluación y disminución de pérdidas en el proceso de preparación y aplicación del esmalte, en la empresa Franz Viegener área Andina S.A., División Sanitarios", Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, EPN, Quito, Ecuador, pp.11, 65, 67, 74.
2. Alarcón, J., 2004, "Química de materiales cerámicos", <http://www.uv.es/uimcv/Castellano/ModuloMatCeramicos/Unidad%209.pdf>, (Junio, 2009)
3. Austin, G., 1988 "Manual de procesos químicos en la industria" 5ta Edición, MacGRAW-HILL, Colombia, pp. 196 – 198.
4. Calbo, J., Gargori C., Sorlí S., Badenes J., Tena M., Monrós G., 2007, "Síntesis de pigmentos cerámicos mediante radiación microondas", <http://boletines.secv.es/upload/2007011592533.46%5B1%5D14-20.pdf>, (Julio, 2009).
5. Camacho, H., García A., Fuentes L., 2005, "Estudio de los factores que gobiernan la coloración de los esmaltes cerámicos", <http://boletines.secv.es/upload/20070116114403.44%5B1%5D13-19.pdf>, (Julio, 2009).
6. Corbalán M., Moya M., 2003, "Segmentación y medida del color de texturas en color", <http://www.optica.unican.es/rno7/Contribuciones/articulospdf/corbalan1.pdf>, (Julio, 2009).
7. Durán, A., 2002, "Introducción a los esmaltes cerámicos", Madrid, Faenza, Editorial Ibérica, pp., 112-114.
8. Elias, X., 2001, "La cerámica como tecnologías para valorización de residuos", <http://www.cnpml.org/html/archivos/Ponencias/Ponencias-ID65.pdf>, (Junio, 2009).

9. Elías, X., 2001, "Optimización de procesos cerámicos industriales", <http://www.cnplm.org/html/archivos/Ponencias/Ponencias-ID57.pdf>, (Junio, 2009).
10. Ferro, 2003, "Características técnicas dos corantes" Información especial, (Abril, 2009).
11. Fotonostira, 2008, "El color", <http://www.fotonostira.com/grafico/colorluzpigmento.htm>, (Abril, 2009).
12. Gómez-Tena, M., Bou E., Moreno A., Cook S., Galindo M., 2009, "Nueva materia prima borácica como componente de esmaltes cerámicos. Estudio de su solubilidad en suspensiones acuosas concentradas", <http://boletines.secv.es/upload/20090401110207.20094845.pdf>, (Julio, 2009).
13. Hernández, M., Restrepo O., 2007, "Estudio del efecto de la temperatura en el tono de esmaltes pigmentados sobre Gres" <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/849/84903677.pdf>, (Noviembre 2008).
14. Hohenberger, J., 2002, "Estudio y desarrollo de pigmentos y colorantes cerámicos "IN SITU" en vidriados cerámicos, a través de métodos de síntesis no convencionales", http://tede.ibict.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=125, (Mayo, 2009).
15. Ibero azulejos, 2008, "Características técnicas", Manual de cerámica, pp. 2-6.
16. Instituto Mediterráneo por el Desarrollo Sostenible (Imedes), 2000, "El impacto ambiental del sector cerámico", <http://www.ecoempleo.com/Estudios/SectoresIndustriales/capitulo1.pdf>, (Julio, 2009).
17. Minguillón, María, 2007, "Composición y fuentes del material particulado atmosférico en la zona cerámica de Castellón" <http://www.tdr.cesca.es/TDX-1025107-102454/>
18. Monrós, G., 2003, "El color de la cerámica", <http://books.google.com.ec/books?id=yflogcGvdqUC&pg=PA17&dq=esmalte+cer%C3%A1mico>, (Marzo, 2009).

19. Morales, J., 2007, "Tecnologías de los materiales Cerámicos", <http://books.google.com.ec/books?id=TuwaxjnVOqIC&pg=PA146&dq=esmaltes+cer%C3%A1micos>, (Marzo, 2009).
20. Murray, R., 1991, "Estadística", 2da Edición, Mc Graw Hill, España, pp. 241 – 257.
21. Pardavé, W., 2006, "Reciclado Industrial de Metales", 1ra Edición, Ecoe ediciones Ltda, Colombia, pp. 1-8.
22. Parmelee, C. W., 1973, " Ceramic Glazes", 3ra edición, Editorial Cahners Books, York, Pennsylvania, U.S.A., pp. 138 - 159, 162- 166, 216 – 231.
23. Pracidelli, S., 2008, "Estudo dos Esmaltes Cerâmicos e Engobes", Información especial N° 1 São Caetano do Sul spracidelli@uol.com.br, (Marzo, 2009)
24. Sánchez, E., García-Ten J., y Regueiro M., 2006, "Materias para la industria cerámica española. Situación actual y perspectivas" http://boletines.secv.es/upload/2007022016_5155_45%5B1%5D1-12.pdf (Diciembre 2008).
25. Sanz, C. O., 2005, "El regimen jurídico aplicable a los residuos de la industria Cerámica", <http://books.google.com.ec/books?id=HNOIqr9dtAC&pg=PA40&dq=pigmentos+ceramicos&lr=#v=onepage&q=&f=false>, (Enero, 2009).
26. Sociedad Española de cerámica y vidrio, 2008, "Jornadas científicas sobre cerámica y Vidrio", <http://books.google.com.ec/books?id=ijhCyzkw1Q8C&pg=PA21&dq=pigmentos+ceramicos#v=onepage&q=pigmentos%20ceramicos&f=false>, (Abril, 2009).
27. Sorlí, L., Mestre A., Badenes M., Llusar M., Monrós G., 2002, "Desvitrificación doble de anortita-gahnita en vidriados SiO₂-Al₂O₃-ZnO-CaO: Cinética y efecto sobre las propiedades mecánicas", http://www.upv.es/pms2002/comunicaciones/006_SORLI.PDF, (Julio, 2009)
28. Tortajada, I., Peris-Fajarnés G., Aguilar M., Latorre P., 2006, "Análisis del proceso de clasificación cerámico" <http://boletines.secv.es/upload/20070112120833.45%5B1%5D22-27.pdf>, (Julio, 2009).

29. Vicentiz, J., 2007 “Esmaltes Cerámicos”, <http://www.vicentiz.com/Acrobat/infoparcial/esmaltes/generalidades.pdf>, (Julio, 2008).
30. Zurita, C., 2003, “Estudio de la variación del coeficiente de dilatación de un esmalte cerámico por la adición de óxidos de zinc, estaño y plomo”, Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, EPN, Quito, PP. 29, 38 – 47.

ANEXOS

ANEXO I

Coordenadas colorimétricas estándar, y sus respectivas tolerancias para los colores de producción de la Fábrica de Sanitarios F.V.

Tabla A I. 1: Coordenadas estándar y tolerancias permitidas en la empresa F.V., para desarrollo de formulaciones y producción.

COLOR	Coordenadas de placas estándar para desarrollo de formulaciones			Coordenadas de placas y piezas de esmalte de producción			
	L*	a*	b*		L*	a*	b*
MORA (MO)	39,75 ± 0,50	18,40 ± 0,40	6,94 ± 0,20	Máx:	41,19	19,39	7,48
				Mín:	39,18	17,45	6,59
CIPRÉS (CI)	27,43 ± 0,50	-9,40 ± 0,20	4,32 ± 0,10	Máx:	28,08	-9,12	4,26
				Mín:	26,77	-10,55	5,49
MERLOT (ME)	26,24 ± 0,50	10,62 ± 0,40	3,27 ± 0,50	Máx:	27,4	11,53	3,74
				Mín:	25,76	8,66	2,38
AZUL COBALTO (AO)	20,03 ± 0,50	6,36 ± 0,20	-11,19 ± 0,10	Máx:	20,99	11,34	-7,92
				Mín:	19,43	4,36	-19,06
NEGRO (NE)	20,70 ± 0,50	0,16 ± 1,6	1,14 ± 0,40	Máx:	21,71	0,97	1,74
				Mín:	19,79	0,1	0,89
AZUL MEDITERRÁNEO (AM)	21,20 ± 0,50	0,58 ± 0,50	-5,57 ± 0,10	Máx:	22,77	1,17	-4,23
				Mín:	20,84	-0,75	-6,29
BLANCO (BL)	90,64 ± 0,50	-0,69 ± 0,32	2,69 ± 0,10	Máx:	92,2	-0,03	3,04
				Mín:	87,9	-0,97	2,26
BONE (BO)	85,01 ± 0,50	0,60 ± 0,25	10,78 ± 0,10	Máx:	85,84	1,54	11,79
				Mín:	83,79	-0,03	9,65
GRIS (GR)	76,38 ± 0,50	0,70 ± 0,25	1,21 ± 0,10	Máx:	76,67	1,63	1,58
				Mín:	74,23	0,24	0,86
CARIBBEAN SHELL (CS)	82,22 ± 0,50	4,69 ± 0,25	7,50 ± 0,10	Máx:	82,9	5,76	8,34
				Mín:	81,54	3,18	7,26
AZUL CIELO (AC)	75,72 ± 0,50	1,27 ± 0,20	-10,74 ± 0,10	Máx:	75,79	1,69	-10,28
				Mín:	74,12	0,91	-12,16
VERDE PRIMAVERA (VP)	84,12 ± 0,50	7,92 ± 0,20	3,40 ± 0,10	Máx:	84,43	-6,41	4,74
				Mín:	82,72	-9,23	3,31
ARENA (AR)	67,83 ± 0,50	5,88 ± 0,20	15,74 ± 0,10	Máx:	67,9	6,23	16,51
				Mín:	66,78	5,46	15,65

ANEXO II

**Plano del área de: Materia prima, Fabricación y recolección del esmalte e
implementación de la tina mezcladora**

ANEXO III

Mediciones colorimétricas de los esmaltes recolectados, y cálculo de ΔE^* .

1. Coordenadas colorimétricas medidas

Tabla A III. 1: Medidas de las coordenadas en el esmalte recolectado de las paredes

Color de esmalte	N° Carga preparada	Coordenadas colorimétricas medidas		
		L*	a*	b*
Azul Mediterráneo	1	21,49	-0,34	-4,03
	2	21,80	-0,16	-5,34
	3	21,16	-0,40	-4,53
	4	21,43	-0,23	-4,44
Verde Ciprés	1	26,66	-8,72	-4,17
	2	26,23	-8,77	-4,08
	3	26,39	-7,85	-4,25
	4	26,36	-8,78	-3,96
Merlot	1	26,03	8,70	2,35
	2	26,05	7,42	3,10
	3	26,23	8,80	5,61
	4	26,15	8,60	2,60
Mora	1	37,72	14,58	5,63
	2	38,29	15,45	5,86
	3	38,66	15,18	5,35
	4	38,39	12,77	3,49
Negro	1	20,88	0,38	1,19
	2	20,41	0,53	1,16
	3	20,4	0,55	1,45
	4	20,26	0,24	1,12
Azul Cobalto	1	19,80	4,43	-8,06
	2	20,37	4,10	-8,12
	3	20,46	3,27	-8,92
	4	20,67	4,67	-9,14

Tabla A III. 2: Medidas de las coordenadas en el esmalte recolectado de las purgas

Color de esmalte	N° Carga preparada	Coordenadas colorimétricas medidas		
		L*	a*	b*
Azul Mediterráneo	1	21,50	0,30	-5,80
	2	21,50	0,70	-5,15
	3	21,30	0,50	-5,50
	4	21,20	0,50	-5,20
Verde Ciprés	1	27,54	-9,21	-4,69
	2	27,26	-9,09	-4,59
	3	27,14	-9,33	-4,81
	4	27,26	-9,06	-4,65
Merlot	1	26,68	10,15	3,19
	2	26,25	10,22	3,00
	3	26,58	10,43	3,44
	4	26,06	10,29	3,45
Mora	1	39,34	18,20	7,08
	2	39,65	18,78	7,26
	3	39,10	17,91	6,56
	4	39,34	18,03	6,67
Negro	1	20,40	0,55	1,75
	2	21,10	0,23	1,13
	3	20,29	0,37	1,22
	4	20,21	0,45	1,16
Azul Cobalto	1	20,24	4,43	-11,06
	2	20,37	4,12	-11,12
	3	20,46	4,27	-10,92
	4	20,67	4,37	-11,14

2. Cálculo de la diferencia de color ΔE^*

Ejemplo de cálculo para el esmalte Azul mediterráneo recolectado de las paredes, presentado en la tabla A V. I, carga 1.

Eje luminoso (negro-blanco)

$$\Delta L^* = L^* \text{ estándar} - L^* \text{ medida}$$

$$\Delta L^* = 21,20 - 21,49 = -0,29$$

$$(\Delta L^*)^2 = 0,08$$

Eje cromático (verde-rojo)

$$\Delta a^* = a^* \text{ estándar} - a^* \text{ medida}$$

$$\Delta a^* = 0,58 - (-0,34) = 0,92$$

$$(\Delta a^*)^2 = 0,85$$

Eje Cromático (azul-amarillo)

$$\Delta b^* = b^* \text{ estándar} - b^* \text{ medida}$$

$$\Delta b^* = -5,57 - (-4,03) = -1,54$$

$$(\Delta b^*)^2 = 2,37$$

Según la ecuación 1.3 se calcula:

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

$$\Delta E^* = 1,82$$

ANEXO IV

Cálculo de los límites de confianza con la teoría para muestras pequeñas de Student.

Ejemplo para el esmalte Azul Mediterráneo ajustado el tono con el 20% de Azul Cobalto.

a) Límites de confianza

Los límites de confianza se calcularon mediante la siguiente ecuación, en base de la teoría de muestras pequeñas (Murray y Spiegel, 1991)

$$\bar{X} \pm t_c \frac{s}{\sqrt{N-1}} \quad [AVI.1]$$

Donde:

t_c = valores críticos o coeficientes de confianza, depende del nivel de confianza deseado y el tamaño de la muestra.

N = tamaño de la muestra

s = desviación estándar

- Cálculo de la desviación estándar

Se calculó según la ecuación:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{x})^2}{N}} \quad [AVI.2]$$

Donde:

X_j = Cualquiera de los N valores $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$

\bar{a} = promedio de los N valores

N = Número de valores medidos

Tabla A IV. 1: Número de Bach que se ajustó el tono con 20% de esmalte Azul Cobalto recuperado.

N° Bach requiere del 20 % de esmalte Azul Cobalto recuperado para ajuste (N)	Coordenadas colorimétricas		
	L*	a*	b*
34	21,16	-0,40	-4,53
35	21,38	-0,35	-4,83
47	21,43	-0,43	-4,62
56	21,37	-0,31	-4,48

A cada coordenada se le calcula la desviación estándar con la ecuación [AVI. 2], donde cada bach es una muestra entonces N = 4.

➤ Cálculo del promedio para L*

$$\text{Promedio } L^* = \frac{21,16 + 21,38 + 21,43 + 21,37}{4} = 21,34$$

➤ Cálculo de la desviación para L*

$$s = \sqrt{\frac{(21,16 - 21,34)^2 + (21,38 - 21,34)^2 + (21,43 - 21,34)^2 + (21,37 - 21,34)^2}{4}}$$

$$s = 0,10$$

➤ Cálculo del límite de confianza

$$21,34 = \pm tc \frac{0,10}{\sqrt{4 - 1}}$$

El tc se obtiene de tablas, para esto se debe ingresar a la tabla con dos valores previos: el grado de libertad dado por la letra griega nu (ν) y es igual a (N-1); y se define un límite de confianza, que es un dato estadístico de trabajo normado a nivel industrial y que se encuentra en un 95 %.

Para la este cálculo: $\nu = 4-1 = 3$

El límite de confianza es representado por una distribución en la curva de gauss, llamada distribución normal, la que reparte el 5 % de error en forma equivalente a los lados de la curva obteniendo a cada lado un 2.5 %, esto quiere decir que a cada lado se tendría una confianza del 97,5 % y esto es representado como $t_{,975}$ que es el otro valor con el que se ingresa a la tabla del ANEXO VII.

Con ν y $t_{,975}$ se obtiene el $t_c = 3,18$, por lo tanto el límite de confianza en la coordenada L^* es:

$$21,34 = \pm 3,18 \frac{0,10}{\sqrt{3}}$$

$$21,34 = \pm 0,19$$

Este valor representa el límite de confianza del 95 % en la coordenada L^* y lo mismo se realiza para las coordenadas a^* y b^* que conjuntas presentan una confianza del 95 % al ajustar el tono, utilizando el formulario con las desviaciones calculadas.

El mismo procedimiento se realizó a todas las coordenadas y colores de esmaltes fuertes, presentados en los siguientes literales.

ANEXO V

Datos registrados en el análisis dilatométrico realizado con el Dilatómetro ORTON.

1. Datos dilatométricos para el esmalte recuperado color Gris.

Sample Name: EB01 GR (Ago-2008)

Sample Length: 1.013 in.

Atmosphere: Aire

Temp. Range (deg C): 41- 700

Remarks: Producción

Safety Shut-Off: 0.10%

Shut-Off Range (deg C): 400 - 700

Firing Schedule			
	Rate (C/min)	Temp. (deg C)	Time min
	3.00	700	0
Temp. (deg C)	PLC	ACE (1E-6in/inC)	DCE (1E-6in/inC)
41	0,0000		
50	0,0014	1,5	
100	0,0239	4,05	4,18
150	0,0525	4,82	7,07
200	0,0827	5,2	5,39
250	0,1150	5,5	6,80
300	0,1449	5,59	6,43
350	0,1778	5,76	6,30
400	0,2122	5,91	6,18
450	0,2379	5,82	3,49
500	0,2716	5,92	5,82
550	0,2969	5,83	4,51
600	0,3244	5,8	5,00
650	0,3640	5,98	5,45
700	0,3985	6,05	

2. Datos dilatómetricas para la base del cuerpo cerámico.

Sample Name: B19C (Ago-2008)

Sample Length: 1.010 in.

Atmosphere: Aire

Temp. Range (deg C): 41- 700

Remarks: Producción

Safety Shut-Off: 0.10%

Shut-Off Range (deg C): 400 - 700

Firing Schedule			
	Rate (C/min)	Temp. (deg C)	Time min
	3.00	700	0
Temp. (deg C)	PLC	ACE (1E-6in/inC)	DCE (1E-6in/inC)
41	0,0000		
50	0,0037	4,06	
100	0,0306	5,19	5,28
150	0,0620	5,69	7,02
200	0,0973	6,12	6,14
250	0,1325	6,34	7,85
300	0,1695	6,54	8,58
350	0,2082	6,74	7,40
400	0,2469	6,88	7,98
450	0,2019	6,89	7,44
500	0,3306	7,2	9,34
550	0,3743	7,35	11,56
600	0,4423	7,91	6,45
650	0,4713	7,74	1,90
700	0,4890	7,42	

ANEXO VI

Cálculos de la evaluación financiera del proyecto

1 Cálculos del costo del esmalte recuperado

Ejemplo para el color Azul Mediterráneo

a) Costo en USD materia prima

*Costo de materia prima recuperada = Costo en USD por kilo de materia prima
(dato F.V., que se detalla en el ANEXO VII) * Cantidad de esmalte recuperado*

*Costo de materia prima recuperada = 0,5211491 USD/Kilo * 6950,14 Kilos
(recuperados hasta Agosto 2008)*

Costo de materia prima recuperada = 3622,06 USD

b) Costo de Fabricación

*Costo de fabricación = Costo de fabricación en USD por kilo de materia prima *
Cantidad de esmalte recuperado*

*Costo de fabricación = 0,48094298 USD/Kilo (dato F.V., que se detalla en el ANEXO
VII) * 6950,14 kilos (recuperados hasta Agosto 2008)*

Costo de fabricación = 3342,61 USD

c) Costo total recuperado hasta el mes de Agosto del 2008

USD de esmalte recuperado = Costo en USD de materia prima + Costo de fabricación.

USD de esmalte recuperado = 3622,06 USD + 3342,61 USD = 6964,67 USD

2 Costos de producción para reutilizar el esmalte recolectado

Ejemplo para el color Azul Mediterráneo

- *Cantidad de pigmento utilizado en el ajuste*

*Cantidad de pigmento requerido para el ajuste = % necesario según formulario * Cantidad de esmalte a ser ajustado con pigmento*

*Cantidad de pigmento para el ajuste = (0,5/100) * 1239,14 Kg (ajustados con pigmento hasta el mes de agosto 2008)*

Cantidad de pigmento para el ajuste = 6,1957 Kg de pigmento requerido

- *Costo del pigmento requerido en el ajuste*

*Costo del pigmento = Cantidad de pigmento para el ajuste * Costo del pigmento*

*Costo del pigmento = 6,1957 Kg * 33,2766 USD /Kg*

Costo del pigmento = 206,1718 USD

- *Costo en USD de recuperación del tono por kilo de esmalte recuperado*

Costo del ajuste con pigmento por kilo de esmalte recuperado = Costo Kg del pigmento Azul / Kilo de esmalte ajustado

Costo del ajuste con pigmento por kilo de esmalte recuperado = 206,1718 USD / 1239,14 Kilos

Costo del ajuste con pigmento por kilo esmalte recuperado = 0,17 USD / Kilo

- *Costo en USD del esmalte ajustado con pigmento hasta agosto 2008*

*Costo de recuperación hasta agosto 2008 = 0,17 USD/kilo * 1239,14 Kilos = 210,65 USD.*

ANEXO VII

Costos utilizados para la evaluación financiera

Tabla A VII. 1: Costo promedio de fabricación de esmalte.

AREA DE PROCESOS CERÁMICOS			
Costo de fabricación de esmalte/ton			
Meses	Materia Prima	Gasto fabricación	Costo total
jun-07	484,2135	442,6621	926,4556
jul-07	445,7533	355,9955	801,7488
ago-07	522,8949	398,6674	921,5623
sep-07	522,4078	528,0317	1050,4395
oct-07	507,2918	427,1306	934,4224
nov-07	544,5917	455,857	1000,4484
feb-08	551,6178	528,7266	1080,3444
mar-08	492,6289	605,6998	1098,3287
abr-08	572,6599	578,2698	1150,9297
may-08	567,4314	488,3793	1055,8107
Total	5211,491	4809,4198	10020,4905
media aritmética	521,1491	480,94198	
Costo kg	0,5211491	0,48094198	

Fuente: Archivos de sistema F.V

Tabla A VII. 2: Costo de los pigmentos

Descripción	COSTO TN.	COSTO kg. (USD)
PIGMENTO GRIS PIZARRA CCT K2286	18888,4	18,8884
PIGMENTO CRIMSON JM CS2602 (14M869) (Rojo)	12082,02879	12,08202879
PIGMENTO BLACK JM CS2709 (WT 0746) (Negro)	21013,9	21,0139
PIGMENTO MAZARINE JM CS2502 (CSD2502) (Azul)	33276,6	33,2766
PIGMENTO VERDE CIPRES CCT KT2787	19927,65189	19,92765189
PIGMENTO CORAL KT 4352 (Rosa)	13935,4	13,9354

Fuente: Archivos de sistema F.V

ANEXO VIII

Características de la mezcladora adquirida para el proyecto.