



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

“FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS”

**“CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA
DEL AZUL COBALTO”**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

LICENCIADA EN QUÍMICA

PRESENTA

JANELLI GUADALUPE PONCE GONZÁLEZ

DIRECTOR DE TESIS

Dr. JORGE R. CERNA CORTEZ.

CODIRECTOR

M.C ERIC REYES CERVANTES

Puebla de Zaragoza, Mayo, 2025

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis.

En primer lugar, agradezco a mi director de tesis, el Dr. Jorge Raúl Cerna Cortes, por su valiosa orientación, paciencia y constante apoyo durante todo este proceso. Su experiencia y dedicación fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Agradezco también a los profesores del Laboratorio de Innovación y Materiales Avanzados, por sus enseñanzas, que contribuyeron a mi formación académica y profesional.

A mi familia, especialmente a mis padres y hermanos, gracias por su amor incondicional, su apoyo constante y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

Finalmente, agradezco a los talleres de Talavera que contribuyeron a este proyecto que fueron:

1. Taller de Talavera Las Américas
2. Taller de Talavera Armando
3. Taller de Talavera Catarina
4. Taller de Talavera De la Reina
5. Taller de Talavera De la luz
6. Taller de Talavera Uriarte

Y un agradecimiento especial al Taller de Talavera Celia, y al Dr. German Gutiérrez padre e hijo, por su contribución y apoyo para este trabajo.

Este trabajo representa no solo el cierre de una etapa académica, sino también el reflejo del esfuerzo, el crecimiento y el aprendizaje que he vivido en estos años.

Resumen

La cerámica es un arte milenario que ha evolucionado con el tiempo, adaptándose a nuevas técnicas y estilos. La cerámica vidriada es un ejemplo de transferencia cultural y tecnológica, reflejando la fusión de influencias ibéricas con la tradición indígena en el centro de México (*Guerrero Rivero, 2020*).

La cerámica producida durante el período colonial refleja la diversa herencia cultural de la época a través de procesos heredados de Oriente, Renacimiento italiano, los moros, España y del Nuevo Mundo. Durante los siglos XVII y XVIII surge el estilo barroco mexicano con una mezcla de estilos extraídos de varias fuentes lo que le da un aspecto de libertad, extravagancia y alta clase, a la Talavera. (*McQuade, 1999*)

El nombre Talavera inicialmente se refería a la ciudad de Talavera de la reina en la provincia de Toledo en la región central de España, en donde se comenzó la elaboración de arcilla vidriada con estaño, la cual estableció un estándar de calidad de producción (*McQuade, 1999*)

Dada la importancia de esta cerámica, en este trabajo se analizaron las características importantes del azul cobalto, siguiendo la metodología descrita por la NOM-132-SCFI-1998, y en algunos análisis sugiriendo nuevas técnicas.

Las pruebas aplicadas en este trabajo y estipuladas por la NOM son: Absorción de Agua en Pieza Terminada, Apariencia, Corrosión, Determinación del Porcentaje de Cobalto en Pintura Azul antes del horneado, Espesor de Esmalte (adaptada al espesor de la capa de azul cobalto en la pieza). Y se sugieren nuevas técnicas de análisis como son: Absorción de Agua en Cuerpo Cerámico, Determinación del Porcentaje de Azul Cobalto después del horneado, Características Internas del Azul Cobalto (inclusión y porosidad), esta prueba se sugiere se realice mediante la técnica de Tomografía Computarizada (CT) para obtención de resultados

cuantificables y precisos, Análisis elemental en piezas de Talavera con cortes transversales, superficiales, y en polvos (pintura de azul cobalto antes y después del horneado) para la obtención de elementos químicos presentes en el color azul cobalto.

Para este trabajo se obtuvieron piezas terminadas, Jahuets y pinturas de 7 talleres certificados de Talavera que son: Talavera Uriarte, Talavera De la luz, Talavera Santa Catarina, Talavera De la Reyna, Talavera Armando, Talavera Celia y Talavera De las Américas.

índice de contenidos

Resumen	2
Introducción	16
Capítulo 1. Antecedentes.....	17
1.1 Cerámica Vidriada	17
1.2 Cerámica Mayólica.	18
1.3 Talavera Poblana	21
Clasificación de la loza estannífera.	22
Extractos de las leyes para los gremios comerciales. fol., encuadernación de vela, ms. 1653-1676. archivos de la ciudad de la Puebla de los Angeles (leyes para los alfareros). 22	
1.4 Proceso de elaboración de la Talavera Poblana.	24
1.4.1 Materias primas	24
1.4.2 Mezclado o compostura del barro	25
1.4.3 Pudrimiento del barro.	25
1.4.4 Amasado o repisado.	25
1.4.5 Torneado y moldeado.	26
1.4.6 Primera cocción	27
1.4.7 Esmaltado.....	28
1.4.8 Decorado de las piezas.	30
1.4.9 Segunda cocción.	31
1.5 Azul cobalto.	33
1.5.1 Características y propiedades del azul cobalto.	34
1.5.2 Preparación del azul cobalto empleado en la Talavera.	35
Justificación	38
Objetivos	39
i. Objetivo General	39
ii. Objetivos Específicos.....	39

Capítulo 2 Desarrollo Experimental	40
2.1 Análisis de apariencia	40
2.1.1 Análisis de apariencia en cuerpo cerámico (Jahuete)	40
2.1.2 Análisis de apariencia en pieza terminada	41
2.2 Análisis de absorción de agua	44
2.2.1 Análisis Absorción de agua en cuerpo cerámico (Jahuete) y pieza terminada.....	44
2.3 Análisis de cobalto en el color azul.....	47
2.3.1 Análisis de cobalto en el color azul antes del tratamiento térmico en Talavera Poblana.....	47
2.3.2 Análisis de cobalto en pintura azul después del tratamiento térmico en Talavera Poblana.....	51
2.4 Análisis de Tomografía Computarizada	58
2.4.1 Análisis de Tomografía Computarizada en pieza terminada de Talavera Poblana (porosidad, inclusión y espesor de esmalte).	58
2.5 Análisis de corrosión.....	62
2.5.1 Análisis de corrosión en pieza de Talavera Poblana.	62
2.6 Análisis de Espectroscopía de energía dispersiva (EDS).....	64
2.6.1 Análisis de Espectroscopía de energía dispersiva (EDS) en muestras de color azul cobalto.	64
Capítulo 3 Resultados y discusión.....	67
3.1 Análisis de apariencia.	67
3.1.1 Análisis de apariencia en cuerpo cerámico (jahuete) de Talavera Poblana.	68
3.1.2. Análisis de apariencia para la caracterización de piezas terminadas en Talavera Poblana.....	69
3.2 Análisis de absorción de agua.	73
3.2.1 Análisis de absorción de agua en cuerpo cerámico (Jahuete) de Talavera Poblana.....	73
3.2.2 Análisis de absorción de agua en pieza terminada de Talavera Poblana.....	77
3.3 Análisis de cobalto en el color azul.....	81

3.3.1 Análisis de cobalto en el color azul antes del tratamiento térmico Talavera Poblana.	81
3.3.2 Análisis de cobalto en el color azul después del tratamiento térmico en Talavera Poblana.	84
3.4 Análisis de Tomografía Computarizada.	88
3.4.1 Análisis de Tomografía Computarizada en pieza terminada de Talavera Poblana (porosidad, inclusión y espesor de esmalte).	88
3.5 Análisis de corrosión.	100
3.5.1 Análisis de Corrosión en pieza terminada de Talavera Poblana.	100
3.6 Análisis de Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS).	103
3.6.1 Análisis de EDS en pieza terminada de Talavera Poblana.	103
Mapeo elemental por EDS.	125
Capítulo 4 Conclusiones.	127
Referencias Bibliográficas	129
Anexos.	132
Anexo 1. imágenes referenciales de la prueba de apariencia en cuerpo cerámico jahuete.	132
Imágenes referenciales de la prueba de apariencia en cuerpo cerámico jahuete.	133
Anexo 2 Graficas del análisis de cobalto antes de horneado por taller.	134
Tabla de datos obtenidos de la prueba de apariencia después de 1 hora y 24 horas en cuerpo cerámico (jahuete).	139
Tabla de datos obtenidos de la prueba de absorción durante 1 hora y 24 horas en pieza terminada.	140
Tabla Cantidad de EDTA gastado en la titulación de azul cobalto antes del horneado	141
Tabla Cantidad de EDTA gastado en la titulación de azul cobalto, después del horneado.	142
Glosario	143

Índice de tablas

Tabla 1. Listado de los talleres analizados.	67
Tabla 2. Patrones de Pantone obtenidos del análisis de apariencia.	68
Tabla 3. Resultados de la prueba de apariencia.....	71
Tabla 4. Datos finales con los diferenciales de peso y diferencia de porcentaje obtenidos de la prueba de absorción en cuerpo cerámico (jahuete).	75
Tabla 5. Datos finales con los diferenciales de peso y diferencia de porcentaje obtenidos de la prueba de absorción en pieza terminada.....	78
Tabla 6. Porcentaje de cobalto obtenido con EDTA.	82
Tabla 7. Porcentaje de cobalto obtenido con EDTA.	86
Tabla 8. Datos de Porosidad en lozas de color azul cobalto.	91
Tabla 9. Datos de inclusión en lozas de color azul cobalto.	95
Tabla 10. Datos de espesor de esmalte en lozas de color azul cobalto.	98
Tabla 11. Datos obtenidos después de la prueba de corrosión.	101
Tabla 12. Contenido elemental de la zona superficial taller 1.....	104
Tabla 13. Contenido elemental de la zona transversal taller 1.	106
Tabla 14. Contenido elemental en polvos taller 1.	107
Tabla 15. Contenido elemental de la zona superficial taller 2.....	108
Tabla 16. Contenido Elemental zona transversal taller 2.....	109
Tabla 17. Contenido elemental polvos taller 2.	110
Tabla 18. Contenido Elemental de la zona superficial taller 3.	111
Tabla 19. Contenido elementa de la zona Transversal taller 3.	112
Tabla 20. Contenido elemental en polvos taller 3.	113
Tabla 21. Contenido elemental de la zona superficial taller 4.....	114
Tabla 22. Contenido elemental de la zona transversal taller 4.	115
Tabla 23. Contenido elemental en polvos taller 4.	116
Tabla 24. Contenido elemental de la zona superficial taller 5.....	117
Tabla 25. Contenido elemental de la zona transversal taller 5.	118
Tabla 26. Contenido elemental en polvos taller 5.	119
Tabla 27. Contenido elemental de la zona superficial taller 6.....	120
Tabla 28. de contenido elemental de la zona transversal taller 6.	121
Tabla 29. Contenido elemental de la zona superficial taller 7.....	122
Tabla 30. Contenido Elemental de la zona transversal taller 7.....	123

Tabla 31. Contenido elemental en polvos taller 7.	124
--	-----

índice de figuras

Figura 1. Cerámicos encontrados en la mezquita Bibi-Khanum. [2].....	18
Figura 2. Artesano trabajando en el torno manual (Taller Talavera Celia, Mtro. tornero Claudio Arenas Carrillo). Fuente: Elaboración propia, 2025.....	26
Figura 3 Azucarero de jahuete. Fuente: Elaboración propia, 2025.	27
Figura 4. Plato trinche de jahuete. Fuente: Elaboración propia, 2025.....	27
Figura 5. Alarca (aleación de estaño y plomo) Fuente: Elaboración propia, 2025.	28
Figura 6. Padilla de fundición, Taller Talavera Celia. Fuente: Elaboración propia, 2025 ...	28
Figura 7. Tina con esmalte base. Fuente: Elaboración propia, 2025	29
Figura 8. Cuarto de secado, previo al segundo horneado. Taller Talavera Celia. Fuente: Elaboración propia, 2025.....	29
Figura 9. Piezas Decoradas con azul cobalto, antes del horneado. Taller Talavera Celia. Fuente: Elaboración propia, 2025.....	31
Figura 10. Artesanos decorando piezas. Taller Talavera Celia. Fuente: Elaboración propia, 2025.....	31
Figura 11. Piezas de Talavera dentro del horno, acomodadas en estibas de manera para su segunda cocción. Fuente: Elaboración propia, 2025.....	32
Figura 12. Horno de altas temperaturas, recubierto con fibra de vidrio. Fuente: Elaboración propia, 2025.....	32
Figura 13. Pintura azul cobalto antes del horneado, con tratamiento térmico a 110°C durante 12 horas.....	36
Figura 14. Mazacote de azul cobalto.....	36
Figura 15. Cuerpo cerámico de una loza con el Pantone correspondiente.	40
Figura 16. Cuerpo cerámico de pieza terminada con un numeral de Pantone correspondiente.	41
Figura 17. Cuerpo cerámico de pieza terminada con un numeral de Pantone sugerido por la NOM 132-SCFI.	41
Figura 18. Poros expuestos en forma de burbujas en gota de color azul cobalto.	42
Figura 19. Craquelado visto desde el microscopio digital.	42
Figura 20. Craquelado a simple vista.	42
Figura 21. Borde esmaltado de aspecto difuso, visto desde el microscopio digital.....	43

Figura 22. Gota de color azul cobalto vista desde el microscopio digital.	43
Figura 23. Relieve de color azul cobalto.....	43
Figura 24. Piezas de jahuete durante el análisis de absorción de agua.	44
Figura 25. Pieza de jahuete después del análisis de absorción de agua.....	44
Figura 26. Piezas terminadas durante el análisis de absorción de agua	45
Figura 27. Pieza terminadas durante el análisis de absorción de agua	45
Figura 28. solución de azul cobalto con HF y HNO ₃	48
Figura 29. Solución de azul cobalto con HF y HNO ₃ a baño maría.....	48
Figura 30. Sistema armado de valoración volumétrica (Soporte universal, pinza para buretas y Bureta de 25 ml)	49
Figura 31. Vire amarillo del indicador murexida en la solución de cobalto, con NH ₄ OH...50	
Figura 32. Vire de color rosado después de la valoración de EDTA con la solución de cobalto.	51
Figura 33. Hojuelas de color azul cobalto aun con jahuete.	53
Figura 34. Hojuelas de azul cobalto, después del limado y sin jahuete.	53
Figura 35. Muestras de azul cobalto antes del tratamiento térmico.	53
Figura 36. Gota de pintura azul cobalto antes del horneado.....	54
Figura 37. Gota de pintura azul cobalto después del horneado y desmoldada del jahuete.	54
Figura 38. Polvo de azul cobalto después del tamizado.	54
Figura 39. Azul cobalto siendo triturado en el mortero de porcelana.	54
Figura 40. Muestra de azul cobalto con ácidos HF y HNO ₃	55
Figura 41. Pasta de color rosa después del proceso de evaporación.....	56
Figura 42. Muestras de color azul cobalto después del exceso de N ₄ OH y murexida	57
Figura 43. Muestras de color azul cobalto en el punto de equilibrio con indicador murexida.....	57
Figura 44. Loza de Talavera de color azul cobalto vista lateral, dentro de la cabina de inspección, centrada en su propio eje y puesta sobre la mesa de trabajo.	59
Figura 45. Loza de Talavera azul cobalto montada en un soporte de unicel, dentro de la caseta de inspección y en la mesa del trabajo.	59
Figura 46. Imágenes radiográficas de la loza de Talavera azul cobalto, antes de la reconstrucción 3D.....	59
Figura 47. Loza de Talavera, después del proceso de escaneo y el ajuste de los parámetros.....	59

Figura 48. Reconstrucción 3D de la loza de Talavera de azul cobalto, mediante el software VG Studio Max 3.3	60
Figura 49. Elección de la región de interés (área a analizar).	60
Figura 50. Región de interés en la cual se obtuvo las inclusiones presentes en la pieza.	61
Figura 51. Región de interés en la cual se obtuvo la porosidad de la pieza.	61
Figura 52. Mediciones del espesor de esmalte en 5 diferentes puntos de la pieza.	61
Figura 53. Medición del espesor de esmalte en 2D y 3D, empezando por los laterales de la pieza hasta llegar al centro (5 puntos de medición).	62
Figura 54. Pieza después del tiempo del análisis de corrosión y lavado.	63
Figura 55. Pieza con HF al 30%	63
Figura 56. Pieza después del análisis de corrosión vista bajo el microscopio electrónico.	64
Figura 57. Cabina de análisis de EDS, con muestras montadas.	65
Figura 58. Muestras de pintura en polvo de azul cobalto, montada sobre cinta doble cara y en el disco de análisis.	66
Figura 59. Piezas montadas en disco de análisis para estudio de la zona superficial.	66
Figura 60. Piezas montadas en disco de análisis para estudio de zona transversal.	66
Figura 61. Pantone encontrado en el análisis de apariencia (Pantone número 7514U). ..	68
Figura 62. Pantone que concuerda con las piezas durante el análisis de apariencia. (Pantone número 7591 U).	68
Figura 63. Pantone que concuerda con las piezas durante el análisis de apariencia (Pantone número 2432 U).	69
Figura 64. Pantone que concuerda con las piezas durante el análisis de apariencia (Pantone número 479U).	69
Figura 65. Pieza con porosidad y craquelado.	70
Figura 66. Relieve en color amarillo.	70
Figura 67. Relieve en el color azul cobalto.	70
Figura 68. Vire de color amarillo con exceso de hidróxido de amonio 1M.	85
Figura 69. Alícuota para el análisis de contenido de cobalto en pintura azul cobalto.	85
Figura 70. Vire de color rosa después de valoración con EDTA 0.05M.	85
Figura 71. Plato de azul cobalto del taller 3 después del análisis con HF al 30%, corrosión no apreciable a simple vista.	102
Figura 72. Área del plato del taller 3 (Figura 71) vista bajo el microscopio, apreciable corrosión al esmalte base, pero no al azul cobalto.	102

Figura 73. Plato del taller 6 después de la prueba de corrosión con HF al 30% a simple vista se observa desgaste del esmalte base y del azul cobalto (aunque no en su totalidad).	102
Figura 74. Área del plato del taller 6 (Figura 73) vista bajo el microscopio, se aprecia en su totalidad la eliminación del esmalte base y el azul cobalto, pero no es apreciable el cuerpo cerámico.	103

Índice de imágenes

Imagen 1 Imágenes de reconstrucción 2D y 3D mediante tomografía computarizada a un trozo de loza azul cobalto (Taller 4).	89
Imagen 2 Vista 2D y 3D de reconstrucción, donde se aprecia la segmentación de la región de interés a analizar. (Taller 4).	90
Imagen 3. Análisis de porosidad en región de interés (ROI) obtenida por TC (Taller 4).	91
Imagen 4 Poro más pequeño encontrado mediante TC imágenes en 2D y 3D (taller 4).	93
Imagen 5 Poro más grande encontrado mediante TC, imágenes en 2D y 3D (Taller 4).	93
Imagen 6 Análisis de inclusión en la región de interés (ROI) obtenido por TC (Taller 4).	94
Imagen 7 inclusión más grande, encontrada mediante TC, imágenes en 2D y 3D (Taller 4).	96
Imagen 8 Inclusión más pequeña, encontrada mediante TC, imágenes 2D y 3D (Taller 4).	96
Imagen 9 Mediciones de espesor del color azul cobalto en cinco puntos distintos de la loza, imágenes en 2D y 3D. (Taller 4).	97
Imagen 10. Espectroscópica del estudio de EDS, con las regiones de interés analizadas. Zona superficial	104
Imagen 11. Espectroscópica del estudio de EDS con las regiones de interés analizadas. Zona Transversal	105
Imagen 12. Espectroscopia obtenida por el análisis de EDS con la zona de interés analizada. Polvos.	106
Imagen 13. Espectroscopia obtenida del análisis de EDS, con las regiones de interés analizadas. Zona superficial	107
Imagen 14. Espectroscopia del estudio de EDS con las regiones de interés analizadas. Zona Lateral.	108

Imagen 15. Espectroscopia obtenida por el análisis de EDS, con las regiones de interés a analizar, en polvos.	109
Imagen 16 Espectroscopia obtenida por el análisis de EDS, con las regiones de interés a analizar. Zona Superficial.	110
Imagen 17. Espectroscopia del estudio de EDS con las regiones de interés analizadas. Zona Lateral.....	111
Imagen 18. Espectroscopia obtenida por el análisis de EDS, con las regiones de interés a analizar, en polvos.	112
Imagen 19. Espectroscopia obtenida del análisis de EDS, con la región de interés analizada. Zona Superficial	113
Imagen 20. Espectroscopia del estudio de EDS con las regiones de interés analizadas Zona Lateral.....	114
Imagen 21. Espectroscopia obtenida por el análisis de EDS, con las regiones de interés a analizar, en polvos.	115
Imagen 22. Espectroscopia obtenida por el estudio de EDS, con la región de interés analizada. Zona Superficial.	116
Imagen 23. Espectroscopia del estudio de EDS con las regiones de interés analizadas Zona Lateral.....	117
Imagen 24. Espectroscopia obtenida por el análisis de EDS, con las regiones de interés a analizar, en polvos.	118
Imagen 25. Espectroscopia obtenida por el análisis de EDS, con la región de interés analizada. Zona Superficial	119
Imagen 26. Espectroscopia del estudio de EDS con las regiones de interés analizadas Zona Lateral.....	120
Imagen 27. Espectroscopia obtenida por el análisis de EDS, con la zona de interés analizada. Zona Superficial	121
Imagen 28. Espectroscopia obtenida por el análisis de EDS, con las zonas de interés analizadas. Zona Lateral.	123
Imagen 29. Espectroscopia obtenida por el análisis de EDS, con las regiones de interés a analizar, en polvos.	124
Imagen 30. Superficie coloreada en verde para el (Si) y rojo para el (Co) después del mapeo por EDS.	125
Imagen 31. Contenido elemental obtenido por EDS, localización de cada elemento, blancos y negros, elementos totales, verde elemento silicio, rojo elemento cobalto.	125

Índice de Graficas

Gráfico 1. Diferencia de porcentajes en cuerpos cerámicos (jahuete).....	76
Gráfico 2. Porcentaje inicial de absorción con un tiempo de reposo de 1 hora, con un límite inferior de 12.10% establecido por la NOM-132-SCFI-1992.....	79
Gráfico 3. Diferencial de porcentaje en pieza terminada, con límite permitido de 0.5% y muestra 12 discriminada.....	80
Gráfico 4. Conjunto de datos obtenidos a partir del análisis de las muestras de cobalto realizado por triplicado.....	83
Gráfico 5. Muestras de color azul cobalto con límites establecidos por la NOM-132-SCFI-1998.....	84
Gráfico 6. Conjunto de datos del porcentaje de color azul cobalto contenido después del tratamiento térmico.	87
Gráfico 7. Cantidad de poros presente en cada pieza analizada (cada valor esta expresado $\times 10^5$).	92
Gráfico 8. Cantidad de inclusiones presentes en cada pieza analizada mediante TC (cada valor esta expresado $\times 10^5$).	95
Gráfico 9. Promedios de espesor de esmalte, con limites experimentales y establecido por la NOM-132-SFCI-1998.....	99
Gráfico 10. Contenido elemental en porcentaje en peso, obtenida de una muestra de loza decorada de azul cobalto (Zona Superficial).	104
Gráfico 11. Contenido elemental en porcentaje peso, obtenida de una muestra de loza decorada con azul cobalto. (Zona de Análisis: Transversal)	105
Gráfico 12. Contenido elemental en porcentaje peso, obtenida de una muestra pintura azul en polvo.....	106
Gráfico 13. Contenido elemental en porcentaje en peso, obtenido de una muestra de loza decorada de azul cobalto (Zona Superficial).	107
Gráfico 14. Contenido elemental, en porcentaje peso de una loza decorada de azul cobalto. (Zona de Análisis: Lateral)	108
Gráfico 15. Contenido elemental en porcentaje peso, obtenida de una muestra de pintura azul en polvo.....	109
Gráfico 16. Contenido elemental en porcentaje peso, obtenido de una muestra de loza decorada con azul cobalto (Zona Superficial).	110

Gráfico 17. Contenido elemental, en porcentaje peso de una muestra de loza decorada con azul cobalto. (Zona de Análisis: Lateral)	111
Gráfico 18. Contenido elemental, en porcentaje peso de una muestra de polvos de pintura de azul cobalto.....	112
Gráfico 19. Contenido elemental, porcentaje en peso, obtenida por una muestra de loza decorada de azul cobalto. (Zona Superficial)	113
Gráfico 20. Contenido elemental, en porcentaje peso de una muestra de loza decorada con azul cobalto. (Zona de Análisis: Lateral)	114
Gráfico 21. Contenido elemental, en porcentaje peso de una muestra de polvos de pintura de azul cobalto.....	115
Gráfico 22. Contenido elemental porcentaje en peso, obtenido de una muestra de loza decorada con azul cobalto. (Zona Superficial)	116
Gráfico 23. Contenido elemental, en porcentaje peso de una muestra de loza decorada con azul cobalto. (Zona de Análisis: Lateral)	117
Gráfico 24. Contenido elemental, en porcentaje peso de una muestra de polvos de pintura de azul cobalto.....	118
Gráfico 25. Contenido elemental porcentaje en peso, obtenido de una muestra de loza decorada con azul cobalto. (Zona Superficial)	119
Gráfico 26. Contenido elemental, en porcentaje peso de una muestra de loza decorada con azul cobalto. (Zona de análisis: Lateral).	120
Gráfico 27. Contenido elemental porcentaje en peso, obtenido de una muestra de loza decorada con azul cobalto. (Zona Superficial).	121
Gráfico 28. Contenido elemental, en porcentaje peso de una muestra de loza decorada con azul cobalto. (Zona de análisis: Lateral).	123
Gráfico 29. Contenido elemental porcentaje en peso, obtenida de una muestra en polvo de pintura azul cobalto.....	124
Gráfico 30. Contenido elemental en porcentaje peso, obtenido por mapeo elemental de EDS.	126

Introducción

La Talavera se considera una de las manifestaciones más representativas de la artesanía en México, valorada no solo por su atractivo visual, sino también por la profundidad cultural que encarna. Dentro de los diversos componentes de esta técnica, el azul cobalto resalta como uno de los colores más distintivos y valorados. No obstante, con la evolución del mercado y el aumento en las exigencias de calidad, es crucial establecer protocolos que garanticen la uniformidad y la durabilidad de este tono. Por ello, se hace necesaria la creación de un protocolo para la caracterización física y química del azul cobalto en la Talavera, alineado con la Norma Oficial Mexicana NOM 132-SCFI-1998 “Talavera Especificaciones”.

El propósito principal de este estudio es crear un marco que mejore los estándares de calidad del azul cobalto, asegurando así la conservación de esta técnica artesanal y fomentando su visibilidad en el mercado actual. Para alcanzar este objetivo, es vital analizar y seleccionar las pruebas establecidas en la norma citada, garantizando su relevancia en la producción contemporánea. También se pretende determinar el contenido de cobalto en las muestras de Talavera antes y después del proceso térmico para evaluar la estabilidad del color. Una caracterización exhaustiva tanto de la cerámica como del azul cobalto mediante métodos avanzados que permitirá elaborar un perfil completo que respalde los estándares de calidad requeridos.

Por último, se elaborarán procedimientos estandarizados para el análisis utilizando Espectroscopía de Energía Dispersiva de rayos X (EDS) y Tomografía Computarizada de rayos X (CT), lo que facilitará su aplicación práctica en el proceso de caracterización. Con este enfoque integral, se espera no solo mejorar la calidad en la producción de Talavera, sino también impulsar su sostenibilidad y reconocimiento en un mercado cada vez más competitivo.

Capítulo 1. Antecedentes

La cerámica es un oficio milenario que ha acompañado a la humanidad a lo largo de su historia y que ha cambiado como el hombre mismo, con cada cambio las técnicas y acabados se vuelven más complejos, de ahí que la cerámica vidriada es un ejemplo de transferencia cultural y tecnológica que muestra cambios y adecuaciones a las nuevas técnicas y formas cerámicas de tradición ibérica en el centro de México; las losas vidriadas en los valles centrales novohispanos se adecuaron con tecnologías europeas en lozas de tradición indígena. *(Guerrero Rivero, 2020)*

Siendo una técnica que ha trascendido los tiempos es importante conocer a profundidad sus raíces, para poder entender su importancia y su prevalencia a través del tiempo.

La Talavera es una técnica artesanal de cerámica que ha sido reconocida por su calidad y belleza, originaria de España y adoptada en México desde el siglo XVI. Esta cerámica se caracteriza por sus elaborados diseños y el uso de colores vibrantes, siendo el azul cobalto uno de los más emblemáticos. La preservación de esta técnica es fundamental no solo por su valor estético, sino también por su importancia cultural y económica. *(Ben Amara, 2018)*

1.1 Cerámica Vidriada

La cerámica vidriada se utilizó para la decoración interior o exterior de elementos arquitectónicos y para la elaboración de objetos para la vida cotidiana. A partir del cuarto milenio a.C. se comenzaron a utilizar los vidriados en Egipto y Oriente Medio para cubrir perlas y cercano al año 1500 a.C se emplearon para cubrir cerámicas, como las encontradas de color turquesa y azul oscuro en la mezquita Bibi-khanum (Figura 1). *(Ben Amara, 2018)*

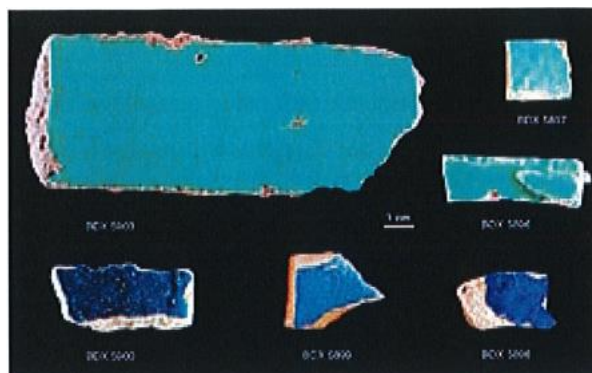


Figura 1. Cerámicos encontrados en la mezquita Bibi-Khanum. (Ben Amara, 2018)

La palabra vidriado comenzó a formar parte del vocabulario a principios del siglo XVII d.C y esta se refiere a una película fina vítrea que decora o impermeabiliza la superficie de una cerámica que está compuesta por líquidos con una viscosidad elevada a temperaturas normales. (Ben Amara, 2018) Esta viscosidad se logra añadiendo alúmina a la mezcla. Aunque es posible hacer vidriados de cerámica a partir de vidrio bajo en alúmina. (López & Martínez, 1995)

Las mezclas vítreas se preparan por medio de la combinación de diferentes ingredientes, aunque se cree que este hecho de auténtico vidrio (sílice), dichas mezclas pueden utilizarse como pintura o barniz en la cerámica, en donde se debe formar una película fina y adherente, este recubrimiento se puede realizar sobre tierra seca, húmeda o cocida, mediante técnicas de inmersión, vertimiento o con la aplicación de un pincel. Se conoce que el vidriado es una técnica introducida por religiosos peninsulares durante el siglo XVI y es una transferencia tecnológica que utiliza óxido de plomo para lograr una superficie vítrea en cuerpos cerámicos. (Guerrero Rivero, 2020)

1.2 Cerámica Mayólica.

Posteriormente se desarrolla la cerámica Mayólica la cual se caracteriza por un esmalte metálico, cuya característica principal es el tipo de pintura o esmaltado que posee, especialmente por su revestimiento de esmalte blanco, realizado con estaño. (Leoni, Macioci & Martínez Castillo, 2017) Elaborada desde el siglo IX d.C.

específicamente en oriente medio, cuyas características se daban por una decoración a base de pigmentos metálicos como óxido de cobre para el color verde y negro con óxido de manganeso, con una mayor producción de piezas tricolores (verde y negro) con un vidriado opaco de plomo, sílice y estaño (*García Iñáñez et al., 2005*). Mediante esta técnica se desarrollaron las principales producciones de piezas decoradas de alta calidad desde el siglo X al XIX, reconocidas como loza Mayólica o Fayenza. (*Coll Conesa, 2008*).

Después del dominio árabe en Europa este tipo de cerámica comenzó a expandirse por el resto del mundo, su época de esplendor se da en la ciudad de Mallorca España, ciudad más importante del hemisferio occidental para la industria cerámica (*Fortnum, 1892*).

El comercio con china permitió la afluencia de porcelanas opacas, seda, marfil y metales finamente cincelados, por lo que los artesanos se vieron influenciados por el refinamiento de las artes chinas, generando nuevos gustos, al intentar imitar la porcelana china cuyo cuerpo cerámico es blanquecino y de apariencia vítrea, idearon un sistema de recubrir el barro cocido con un vidrio blanco opaco, recubriendo arcilla con una barbotina o engobe de tierra blanca, superponiendo el vidriado transparente de plomo o añadiendo un opacificante de vidrio (Casiterita u óxido de estaño) que tras la cocción formaría una superficie blanca (*Coll Conesa, 2008*)

Durante este tiempo la preparación de los cuerpos cerámicos estaba bien establecido, el cual se daba por la elección de arcillas adecuadas para el conformado principal, al que se le añadían aditivos necesarios (arenas o cuarzos) para darles consistencia o propiedades específicas al barro. Una vez obtenida la mezcla el barro se dejaba decantar para posteriormente trabajarlo en el torno con un punto de plasticidad adecuada, ya que se le daba la forma, este debía secarse lentamente para evitar la aparición de fisuras o grietas (*Coll Conesa, 2008*). Ya seca la pieza era ligeramente cocida para después glasearla, este glaseado era aplicado en húmedo, este tipo de vidriado podía ser coloreado de diversas formas

entre los más comunes se encontraban el amarillo, verde, negro y azul, otorgados por el hierro, cobre, manganeso y cobalto. (Siglo XIII) (*Fortnum, 1892*).

Por otro lado, con la conquista de los territorios y la llegada de los colonizadores, las formas, estilos, técnicas e imágenes del viejo continente encontraron otro lugar para desarrollarse, la cerámica de Talavera es un caso de transferencia cultural (*Coll Conesa, 2008*).

Antes de la conquista las comunidades indígenas establecidas en el territorio mexicano tenían la actividad de la cerámica muy bien desarrollada, posterior a ese periodo y con la nueva España establecida los españoles ingresaron piezas de mayólica española (platos, tazones, cuencos etc.) por lo que se hizo una combinación de técnicas entre la española y la indígena (*Fortnum, 1892*)

El proceso de elaboración de la cerámica indígena solo era cernido de barro, mezcla y modelado, con una cocción a la intemperie, con la llegada de los españoles, se introdujo el uso del torno, esmaltado, vidriado, y con el paso del tiempo el uso de hornos. Por lo que al comienzo de la producción de esta cerámica seguía con la influencia española, pero de manera tosca y carente de arte (*Fortnum, 1892*).

Con el paso del tiempo la mayólica de México reflejó el arte, la audacia de su modelado y el tratamiento decorativo, lo que le da una individualidad y una mezcla de técnicas e influencias que propiciaron su refinamiento. Siendo la mayólica mexicana la cerámica que posee cuatro estilos diferentes que pertenecen a distintos periodos de tiempo, como son la Moresque, la Talavera Española, los chinos y el hispano-México poblano (*Fortnum, 1892*).

Dentro de las características del estilo *Moresque* encontramos entrelazados de volutas o tiras, con un ligero relieve, formando límites para los colores de esmaltes aplicados en los surcos. Con la *Talavera Española*, encontramos ausencia de lustres metálicos, predominio del color azul y esmalte blanco, introducción de formas de animales, y formas humanas, con adornos de follajes y flores. Por otra

parte, dentro de la *influencia china*, solo se apreciaba el esfuerzo de los artistas de la época por emular piezas de este tipo de arte, con la finura y la calidad de la porcelana china, así como las formas del jarrón esférico, jarras con tapa y piezas ornamentadas con motivos característicos. En cuanto al estilo *hispano-México poblano* destaca entre los colores, verdes, marrones, amarillos, haciendo que el colorido de estas piezas sea una característica principal de esta cerámica. A principios del siglo XIX los alfareros poblanos comenzaron a desarrollar un estilo propio y aumentaron su gama de colores (azul, verde, amarillo, rojo, marrón y negro). El color azul dentro de este estilo de cerámico es perceptible mediante un relieve, lo cual le aporta una característica distintiva a este tipo de cerámico nombrado Talavera Poblana (*Fortnum, 1892*).

1.3 Talavera Poblana

La Talavera Poblana es una cerámica elaborada específicamente por la mezcla de barros (negro y blanco) la cual es recubierta con una capa de esmalte compuesto por plomo, estaño y sílice. Los colores con los que se decora provienen de óxidos metálicos y se funden con el esmalte a una temperatura entre los 900 a 1050 grados centígrados. El color del esmalte tiene una coloración ceniza o castaña, los colores usados para este tipo de cerámica son seis: azul cobalto, azul fino, amarillo, verde-limón, negro y Malva.

Durante los periodos de conquista y colonización el arte del vidriado o esmaltado cerámico paso de España a México, sin embargo, la importación de la materia prima para su elaboración no era algo viable, por lo que los loceros españoles tuvieron que buscar la materia prima requerida para su elaboración, por lo tanto, tuvieron que experimentar con diversos ingredientes hasta obtener piezas de buena calidad. Con la combinación de dos barros, uno encontrado en el cerro de Loreto de color pardo (denominado barro negro) y otro encontrado en las cercanías de Tecali, de color rosado denominado barro rojo (*De la Rosa Elisea, 2013*, obtuvieron la mezcla perfecta para loza de buena calidad, una vez obtenidas

las materias primas se favoreció la producción del cerámico esmaltado dentro del estado de Puebla (*Tolentino Martínez & Rosales Ortega, 2011*).

En la época virreinal, en el año 1653 se emitieron una serie de ordenanzas que establecían el control de calidad y reglamentaban las condiciones necesarias para ser maestros del oficio, así como se reglamentaron las proporciones en las cuales debían mezclarse los barros y normas a seguir en el decorado, al igual que hubo una clasificación de la loza en tres géneros: común, entrefina y fina (*Fortnum, 1892*).

A continuación, se presentan los puntos principales de las ordenanzas impuestas a los maestros de oficio, para asegurar su regulación y protegerla de falsificación.

Clasificación de la loza estannífera.

- I. **Loza blanca y común:** Son artículos destinados para el uso de la cocina (platos y vasos) decorados de manera sencilla, con colores verdes y unos pocos toques de azul.
- II. **Loza entrefina:** Loza de mejor calidad, con productos como tazones y platos para mesa, se elaboraban en serie.
- III. **Loza fina y refina:** Loza con características especiales de acuerdo con las condiciones establecidas por el cliente, en cuanto a colores, tamaños, formas y dibujos. En la loza refina las condiciones también las establecía el cliente, pero en cuanto a colores, el color azul comenzó a cobrar fuerza, por lo que debía ser un azul subido de tono y realzado. (*Tolentino Martínez & Rosales Ortega, 2011*)

Extractos de las leyes para los gremios comerciales. fol., encuadernación de vela, ms. 1653-1676. archivos de la ciudad de la puebla de los ángeles (leyes para los alfareros).

- I. Ninguna persona podrá ejercer el oficio de alfarero sin ser examinada en ese oficio por los alcaldes e inspectores.
- II. A ningún negro, mulato o mestizo se le puede permitir tomar el examen de maestro alfarero.
- III. Ninguna persona que no haya sido examinada debe trabajar en el oficio de alfarero, ni poseer locerías o alfarerías.
- IV. Se conocerán tres clases de cerámica, la fina, la común y la amarilla, tales como tinajas, ollas, jarrones, sartenes, coladores, etc. Nadie puede fabricar cerámica, sea fina o común, sin pasar el examen requerido en el tipo de cerámica que espera hacer.
- V. La viuda de un maestro alfarero puede continuar con su planta y taller, y nadie puede interferir con su derecho; y el hijo de un maestro alfarero puede continuar el negocio de su difunto padre durante tres años sin ser examinado, pero al final de ese tiempo debe ser examinado.
- VI. Todos los maestros alfareros que hayan sido examinados deberán familiarizarse con estas leyes, para que puedan cumplirlas y no alegar ignorancia. (*Fortnum, 1892*)

Reglas para la elaboración de Talavera.

- I. La arcilla con la que se han de hacer las diversas clases de cerámica debe estar bien cernida y limpia, a fin de que pueda obtener la debida cocción y la perfección necesarias para su duración.
- I. El esmalte para la cerámica fina debe mezclarse y tratarse adecuadamente a una arroba (25 lbs.) de plomo se agregan seis libras de hojalata, y estas deben estar bien mezcladas y cocidas.
- II. Si la loza ha de pintarse, primero debe decorarse con negro, para que resalte su belleza, y cada pieza debe ser del mismo espesor en sus partes.
- III. Toda la loza común y blanca tendrá vidriado de una arroba de plomo, y dos libras de estaño bien mezcladas y cuidadosamente preparadas.
- IV. El glaseado debe corresponder a las diferentes lozas, y además debe estar bien molido, muy líquido y sin impurezas, para que la loza de cualquier clase sea duradera y honestamente hecha.

- V. Los platos ordinarios para la mesa deben tener un cuarto de borde, tanto en loza fina como en lo común, y estos platos no deben exceder en espesor el borde de un real, y debe haber un espesor igual en todas las partes.
- VI. En la alfarería más fina se pueden usar otras dimensiones, según el gusto del alfarero y del comprador. Por supuesto, uno sabe que la vajilla tosca no responderá a los propósitos de la fina.
- VII. Para evitar todas las perplejidades que de otro modo podrían ocurrir, cada maestro alfarero deberá tener un sello o monograma claramente marcado (para las mercancías hechas por él), y en toda la cerámica hecha por él debe aparecer este sello o marca registrada. Dicha marca se colocará en la hoja de examen de cada maestro alfarero, para que no pueda negar ser el fabricante de cualquier y toda cerámica que lleve ese sello.
- VIII. El que contramarcare o falsificare la marca de otro, incurrirá en las penas previstas para todos estos casos, y sufrirá tanto en su persona como en sus bienes.
- IX. Cuando un aprendiz hubiere terminado el tiempo durante el cual su maestro estaba obligado a instruirlo, irá ante los alcaldes y los inspectores para demostrar lo que ha aprendido; y si fuere hallado deficiente, según la declaración de dichos Inspectores que lo hubieren examinado, entonces irá a la Justicia a implorar que su maestro sea obligado a terminar su instrucción a expensas suyas. (*Fortnum, 1892*)

El proceso de elaboración y ordenanzas no han cambiado mucho con el paso del tiempo, pero los motivos, las formas y el decorado se han enriquecido.

1.4 Proceso de elaboración de la Talavera Poblana.

1.4.1 Materias primas

I) Barros rojos y negros. II) Arenilla, Plomo, Estaño, para elaborar el esmalte que recubre las piezas. III) Elaboración de colores para los decorados de las piezas,

obtenidos a partir de óxidos metálicos y materiales de la naturaleza (*Tolentino Martínez & Rosales Ortega, 2011*)

1.4.2 Mezclado o compostura del barro

Consiste en mezclar los barro (blanco y negro) e hidratarlos con agua en tanques de almacenamiento, una vez realizado este proceso se agita la mezcla con el objetivo de disolver los terrones de barro, una vez hidratado se procede a realizar un cernido, en cual elimina compuestos orgánicos e impurezas (piedras, ramas, hojas, etc.) y se trasvasa a otro tanque, para obtener la crema de barro.

En este segundo tanque se espera a que el barro sedimente y posteriormente se quita el sobrenadante (agua) con cubeta y esponja, una vez quitado el sobrenadante y reducido el volumen casi a la mitad, el sedimento pasa a un nuevo tanque por medio de una cañería que está ubicada al fondo del tanque, el cual esta recubierto por tela para que pueda absorber el agua sobrante (*Gómez Marín, 2020*).

1.4.3 Pudrimiento del barro.

El barro es dejado a la intemperie o cubierto con tela para eliminar la humedad restante, posterior a ese proceso el barro es pasado a un barreal donde se deja reposar en un piso de ladrillo a fin de que pierda el agua residual lentamente, este proceso puede durar semanas o meses (*Gómez Marín, 2020*).

1.4.4 Amasado o repisado.

La masa de barro es amasada con los pies para obtener una masa moldeable, haciendo movimientos circulares, desde el centro de la masa al borde y del borde al centro, ejecutando estos movimientos se eliminan burbujas de aire lo que permite obtener una masa blanda y bien mezclada, el amasado termina a mano en una mesa, en el que es “sobado” por lo menos tres veces antes de realizar alguna pieza (*Gómez Marín, 2020*).

1.4.5 Torneado y moldeado.

Algunas de estas piezas se elaboran con torno donde el artesano va moviendo la mesa giratoria con los pies y con sus manos humedecidas de una lechada va moldeando la pasta, alargando, adelgazando, hundiendo o expandiendo el barro, hasta obtener una consistencia moldeable para darle la forma de la pieza deseada, en este proceso se puede poner una gran cantidad de barro sobre la mesa del torno e ir sacando diferentes piezas o poner una cantidad específica de barro denominada “bala” y solo sacar una pieza (*Velázquez Thierry, 2021*).

Después de que las piezas salen del torno se dejan en habitaciones sin corrientes de aire, para que la eliminación de humedad sea uniformemente, estas piezas se quedan en reposo durante semanas o meses dependiendo del tamaño (*Velázquez Thierry, 2021*) Antes de realizar la primera cocción del barro se sacan a asolearse (Preferentemente al sol de mediodía) lo que ayudara a incrementar la temperatura de la pieza y evitar choques térmicos (*Gómez Marín, 2020*).



Figura 2. Artesano trabajando en el torno manual (Taller Talavera Celia, Mtro. tornero Claudio Arenas Carrillo). Fuente: Elaboración propia, 2025

1.4.6 Primera cocción

Las piezas se introducen en un horno de gas a una temperatura mínima aproximada de 800 °C durante 10 horas, el horno no es abierto hasta que la temperatura interior se iguala al ambiente o se encuentra completamente frío, proceso que puede tardar hasta 24 horas, anteriormente se utilizaba horno de leña y de diferentes formas, el más conocido era el horno de botella, pero el calor no se podía controlar por lo que la mayoría de las piezas sufrían una sobre cocción y por lo tanto quiebre (Gómez Marín, 2020).

A las piezas después de la primera cocción se les conoce como jahuete, tienen la característica de ser rojizas o naranjas y de una textura un tanto áspera, a las cuales se les hace una prueba de calidad, dándole pequeños golpes a las piezas las cuales deben de producir un sonido de campanas, lo que significa de la pieza fue correcta, pero si el sonido producido es hueco indica que la pieza no está bien realizada y tiene que desecharse. Después de este procedimiento, las piezas son limadas para eliminar bordes filosos, lo que va a permitir una mejor adhesión del esmalte y evitar un cuarteamiento (Cervantes, 1987).



*Figura 4. Plato trinch de jahuete.
Fuente: Elaboración propia, 2025.*



*Figura 3 Azucarero de jahuete.
Fuente: Elaboración propia, 2025.*

1.4.7 Esmaltado

Este procedimiento es de los más importantes en la elaboración de la Talavera ya que el esmalte (estannífero) permitirá una mejor fusión de los colores con la base y dará el aspecto vítreo de la pieza (*Gómez Marín, 2020*).

Para obtenerlo se requiere la preparación de la alarca, en esta preparación se necesitan lingotes de plomo y estaño los cuales son fundidos en la padilla a fuego directo, moviendo constantemente hasta obtener un sólido cristalino y de color amarillento (*Cervantes, 1987*).

Una vez obtenido el producto cristalino y frío se tritura en una tahona hasta obtener un polvo muy fino, al que se le agrega agua y se sigue moliendo (*Revista Checkout, 2021*). Por otro lado, se muele arenilla hasta obtener un polvo fino al que de igual manera se le agrega agua hasta que esté bien diluido, para posteriormente combinar las dos mezclas en la proporción de una parte de estaño por tres partes de arenilla (*Cervantes, 1987*).



Figura 6. Padilla de fundición, Taller Talavera Celia. Fuente: Elaboración propia, 2025



*Figura 5. Alarca (aleación de estaño y plomo)
Fuente: Elaboración propia, 2025.*

La alarca es vertida en tinas con agua para así obtener el esmalte base, y las piezas se esmaltan según su tamaño y forma, ya que puede ser por inmersión o por escurrimiento, una vez esmaltadas las piezas se limpian por la base para evitar que se peguen en los anaqueles o en la segunda cocción y se dejan secar por unos días hasta que el esmalte este completamente seco, para pasar al proceso de decoración (Velázquez Thierry, 2021).



Figura 8. Tina con esmalte base.
Fuente: Elaboración propia, 2025



Figura 7. Cuarto de secado, previo al segundo horneado.
Taller Talavera Celia. Fuente: Elaboración propia, 2025.

1.4.8 Decorado de las piezas.

Una vez esmaltadas las piezas y secas pasan al taller de decorado. Para poder realizar el decorado los artesanos elaboran sus propios pinceles con fibras naturales (pelo de caballo, pelo de camello, etc.) de diferentes grosores lo que les permitirá dar diferentes trazos a las piezas (*Velázquez Thierry, 2021*). Los pigmentos se obtienen de diversos minerales, aunque solo están permitidos siete colores que son: azul delgado, azul fuerte, amarillo, negro, verde, naranja y malva (*Secretaría de Economía, 2016*).

Como el esmalte sobre el cual se decoran las piezas es demasiado absorbente los trazos tienen que ser en capas finas o gruesas, pero con gran precisión y cuidando que los colores no se superpongan. Por lo que los colores también deben tener cierta consistencia (*Cervantes, 1987*).

Hay dos tipos de técnicas para decorar las piezas, (Plumeado o borraseado y estarcido), cuando el diseño no es muy elaborado el artesano tiene libertad de pinceladas por lo que crean diseños únicos utilizando la *técnica del plumeado o borraseado*, técnica que está establecida en las ordenanzas coloniales (*Velázquez Thierry, 2021*), por otro lado *la técnica de estarcido*, consta en crear una plantilla en papel encerado, el cual es perforado siguiendo un diseño específico, una vez que se obtiene el patrón se graban los diseños en la pieza, esto se realiza colocando el papel encerado sobre la pieza y se le agrega carbón en polvo, el cual pasará por las pequeñas perforaciones y quedará grabado el diseño en la pieza, posteriormente las piezas grabadas se decoran, cuando hay piezas o diseños que requieren más pigmentos se realiza un delineado en color negro y después se emplean los demás colores (*Gómez Marín, 2020*).

De acuerdo con la denominación de origen asignado por el IMPI (instituto mexicano de la propiedad intelectual) y las ordenanzas virreinales de 1653 establecen que durante este proceso las piezas son marcadas por el reverso con el logo del taller que elaboró, seguido del nombre del taller, año de fundación de la

fábrica, la ubicación geográfica donde fue elaborada la pieza, DO4 (denominación de origen 4) correspondiente a la Talavera Poblana, año de elaboración de la pieza. En caso de que la pieza sea muy pequeña solo se añade el logo del taller en el que se realizó la pieza y la denominación de origen (*Revista Checkout, 2021*).

Terminada la decoración las piezas son almacenadas para posteriormente meterlas al horno a una segunda cocción.



Figura 10. Artesanos decorando piezas. Taller Talavera Celia. Fuente: Elaboración propia, 2025.



Figura 9. Piezas Decoradas con azul cobalto, antes del horneado. Taller Talavera Celia. Fuente: Elaboración propia, 2025.

1.4.9 Segunda cocción.

Una vez que las piezas pasaron por el proceso de decorado y secado son sometidas a una segunda cocción, en un horno con control de temperatura, a 1000°C por alrededor de 10 horas, para evitar el choque térmico y que las piezas sufran algún daño, se deja enfriar el horno por 5 horas o hasta que la temperatura interna se iguale a la temperatura externa (*Velázquez Thierry, 2021*). Esta segunda cocción es para que los pigmentos minerales se fundan con el esmalte y se forme un recubrimiento uniforme (*Gómez Marín, 2020*).

Una vez que las piezas salen del horno, pasan por un proceso de calidad, donde se verifica que las piezas cumplen con los estándares establecidos y puedan ser ofertadas al mercado o entregadas al cliente (*Secretaría de Economía, 2016*).

El proceso de elaboración ha variado un poco desde la época virreinal, algunos de los aspectos se han mejorado o cambiado, son: uso del torno eléctrico en lugar del manual, y el remplazo del horno de leña por uno de gas. (*Gómez Marín, 2020*).



Figura 11. Piezas de Talavera dentro del horno, acomodadas en estibas de manera para su segunda cocción. Fuente: Elaboración propia, 2025.



Figura 12. Horno de altas temperaturas, recubierto con fibra de vidrio. Fuente: Elaboración propia, 2025.

1.5 Azul cobalto.

El azul cobalto es un pigmento inorgánico utilizado en la cerámica que se obtiene a partir de sales de cobalto. Este colorante es valorado por su estabilidad térmica y resistencia a la luz, lo que lo hace ideal para aplicaciones en cerámica. Sin embargo, la variabilidad en su composición química puede influir en la calidad del producto final.

El cobalto es un elemento conocido y utilizado desde la época de los antiguos persas y egipcios, para darle color a la cerámica y utensilios de vidrio, se ha encontrado en estatuillas y collares con más de 2,500 años de antigüedad (*Gamiño-Arroyo et al., 2019*).

Su nombre se origina de la palabra alemana *kobold*, cuya variante es *Kobalt* que hace referencia a un ente de la mitología germana que habitaba en las minas el cual era el causante de accidentes o perjudicaba la salud de los mineros, aunque también se cree que los mineros le atribuyeron el nombre ya que ellos estaban en busca de plata y lo que encontraron fue un metal “sin valor” que había sido puesto por el Kobold al robarse la plata. La palabra cobalto tiene su primera aparición en el diccionario castellano en el siglo XVIII (*Corominas, 1973*).

El azul cobalto es un color característico de la cerámica que al igual que la Talavera ha tenido un gran recorrido histórico. En investigaciones anteriores se sugiere que el pigmento azul cobalto ha tenido 4 diferentes subdivisiones históricas, que va de la prehistoria al siglo XII del siglo XIII al siglo XV, del XV al XVI y del XVI al XVIII (*Coll Conesa et al., 2003*), siendo el siglo XIII donde tiene su mayor auge pues fue introducido a la península ibérica, por obreros iraníes a partir de la invasión mongola. Mientras que en el Reino de Valencia la importancia del azul cobalto data del segundo cuarto del siglo XIV, con la presencia de lozas decoradas con azul cobalto con dorado sobre un fondo de color blanco, (loza Manise), en la segunda mitad del siglo XIV surgieron nuevas piezas de menor calidad con decorados solo en azul cobalto sobre loza estannífera.

Dentro de la producción de loza Manise se tiene registro que el azul cobalto se aplicaba bajo la cubierta, después de la primera cocción se aplicaban los decorados en color azul/Dorado y posterior a esto se aplicaba el esmalte y se les daba una segunda cocción llamada “De fino”. Con estudios recientes y piezas encontradas en Valencia España del siglo XV se halló que las piezas decoradas con el color azul cobalto estaban crudas, solamente que bien secas, aunque no se pudo constatar a que taller de la época pertenecían (*Coll Conesa et al., 2003*).

En el siglo XIX los compuestos de cobalto que se producían se destinaban a la decoración de utensilios de vidrio y cerámica, dentro de estos compuestos se encuentran: (*Gamiño-Arroyo et al., 2019*).

- I. Negro de cobalto (óxido de cobalto (III) (Co_2O_3))
- II. Amarillo de cobalto (hexanitrocobaltato (III) de potasio, $\text{K}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$)
- III. Azul cobalto (Aluminato de cobalto (CoAl_2O_4))
- IV. Violeta de cobalto (Fosfato de cobalto (II), $\text{Co}_3(\text{PO}_4)_2$)

El óxido de cobalto es de los colorantes más estables y confiables para vidriados, dando un tono azul característico con relieve. La fórmula más empleada entre estos colorantes es el carbonato de cobalto CoCO_3 que es un polvo de color púrpura claro y el óxido de cobalto negro CoO que es de los óxidos más fuertes dentro de los colorantes de cobalto, para obtener un color azul medio se agrega 0.25% de CoO , un 0.5% para un azul más fuerte y un 1% para un azul oscuro, excediendo estos porcentajes podemos obtener colores más fuertes como un negro azulado o un negro (*Gamiño-Arroyo et al., 2019*).

1.5.1 Características y propiedades del azul cobalto.

El cobalto fue aislado por primera vez en 1735 por el químico y mineralogista sueco George Brandt, a partir de la esmaltina (Co_3As_2) pigmento inorgánico compuesto por óxidos de cobalto, sílice, potasio, y algunas impurezas que pueden ser óxidos de cobre, manganeso, magnesio, sodio, níquel y bario. Este mineral se empleaba en la preparación de vidrios y cerámicas (*Menargues Irlas, 2019*).

El reconocimiento del cobalto no se dio hasta 1780 por el químico mineralogista sueco Torben O. Bergmann (*Menargues Irlles, 2019*).

El cobalto se encuentra presente en la naturaleza en rocas ígneas, meteoritos, estrellas, fondo marino, aguas dulces, suelos, plantas, animales y nódulos de manganeso en el fondo del océano (*Lenntech, s.f.*).

El cobalto cuyo símbolo es Co se encuentra en la Tabla periódica en el grupo VIIIB en los metales de transición, con un peso atómico de 58.93 g/mol (^{59}Co) presenta un color gris metálico y cuando es pulido brilla con un ligero color azul, es un elemento que fácilmente puede magnetizarse y a altas temperaturas no pierde esta condición, tiene el punto de Curie más alto de los metales conocidos hasta ahora que es de 1120°K (847°C) (*Gamiño-Arroyo et al., 2019*).

Es un material ferromagnético, con alta dureza y resistencia a la tensión parecida a la del hierro y níquel, puede formar complejos y compuestos coloreados, no lo afecta el agua ni el aire en condiciones normales, pero reacciona rápidamente con H_2SO_4 y HCl , el HNO_3 diluido lo disuelve, y lo ataca débilmente el HF , NH_4OH , NaOH . [20] Es un metal duro y dúctil, es capaz de formar cables y laminas delgadas, su punto de fusión es de 1439°C y de ebullición de 3100°C, tiene una densidad de 8.9 g/cm³ (*Lenntech, s.f.*).

1.5.2 Preparación del azul cobalto empleado en la Talavera.

El cobalto se emplea en estado de óxido, este es el encargado de darle el color azul representativo de la Talavera. Los azules con mejores matices son obtenidos con cubiertas a base de silicato potásico o por la mezcla de óxido de cobre, cuya mezcla da un color azul más hermoso y llamativo.

Para obtener diferentes matices de azul se le adicionan colorantes a base de hierro, manganeso, cromo y cobre (*García López & Vidal y Martí, 1922^a*).



Figura 13. Pintura azul cobalto antes del horneado, con tratamiento térmico a 110°C durante 12 horas.

La preparación del color azul cobalto es independiente de cada taller, aunque la receta tradicional establece los siguientes elementos.

- Arenilla (Arena Sílice)
- Óxido de cobalto
- Tequesquite y/o Sal (NaOH)

Se realiza una mezcla con 59.21% de arenilla, 39.47% de tequesquite y/o sal y 1.31% de óxido de cobalto, esta mezcla se introduce en una olla de barro previamente forrada con papel y se lleva al horno a una temperatura de 1050°C por 12 horas, posterior a ese tiempo, el horno se deja enfriar y se obtiene una piedra “mazacote” de color azul cobalto dentro de la olla de barro.



Figura 14. Mazacote de azul cobalto

Una vez obtenido el mazacote este es triturado en un molino de bolas hasta obtener un polvo fino el cual después es diluido con agua hasta obtener una pasta fina y fluida, ya obtenida la mezcla es utilizada con pinceles de cerda dura (pelo de camello, cabra y caballo) para la decoración de la cerámica de Talavera Poblana.

La influencia de la Talavera ha llegado a otras partes del país, pero Puebla se destaca por la elaboración continua de esta cerámica vidriada, lo que convierte a la Talavera en una identidad para los poblanos.

Es así como el 17 de marzo de 1995 es declarada la zona de Talavera al estado de Puebla y a los municipios de Atlixco, Cholula y Tecali. Posteriormente en el 2003 se incluye al municipio de San Pablo del Monte, Tlaxcala. Para el 11 de septiembre de 1997 el diario oficial de la federación declara la protección de origen de la Talavera para la cerámica producida, utilizando los métodos y técnicas de la tradicional loza estannífera virreinal, para el año 1998 se obtuvo la NOM-132-SCFI-1998, establece especificaciones para la producción de Talavera, incluyendo criterios para la selección de materiales y métodos de prueba. Esta normativa busca garantizar la calidad del producto y proteger el patrimonio cultural asociado a esta técnica artesanal (Secretaría de Economía, 1998) (*Gómez Marín, 2020*) y considerando que los procesos de elaboración de la Talavera son transmitidos de generación en generación, otorgándole identidad a una comunidad en específico, el 11 de diciembre del 2019 se le otorga el nombramiento de Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad (*García López & Vidal y Martí, 1922b*).

Justificación

El proceso de producción de Talavera es una práctica artesanal de gran relevancia en Puebla y Tlaxcala. Aunque su proceso de fabricación ha sido constante, se han introducido variaciones en esmaltado y decoración. Este estudio busca analizar la característica del azul cobalto, contribuyendo a la preservación y mejora de la calidad de esta técnica.

El conocimiento y las habilidades relacionadas con esta práctica cultural van desde la formación de pasta de barros mediante arcillas, preparación de pigmentos naturales, moldeado y horneado de piezas, realizada por artesanos experimentados que han transmitido su conocimiento de generación en generación

La Talavera: es una mezcla de varios estilos, pero referenciada comúnmente como una variación de Talavera de la Reina en España, aunque sus diseños y proceso de elaboración son semejantes, hay algunas cosas que las diferencian, entre esas se encuentra el característico azul cobalto, con el cual identifica a esta cerámica. Actualmente en México esta cerámica se encuentra regulada por la NOM-132-SCFI-1998 “Especificaciones Talavera” donde se establecen las características y pruebas a las que se deben de someter las piezas de esta cerámica.

El tema principal de esta tesis es la caracterización física y química del azul cobalto en la producción de la Talavera, al analizar leyes y procesos de elaboración, se aporta una visión histórica y cultural clave para esta cerámica. Los resultados de los análisis físicos y químicos enriquecen el conocimiento actualizado sobre la composición y pigmentación de las piezas, reforzando la importancia de preservar este patrimonio inmaterial de la humanidad

Objetivos

i. Objetivo General

Desarrollar un protocolo de caracterización físico y químico del color azul cobalto en la Talavera, conforme a la NOM 132-SCFI-1998, que permita optimizar los estándares de calidad y garantizar la preservación de esta técnica artesanal, promoviendo su reconocimiento.

ii. Objetivos Específicos

- I. Revisar y seleccionar las pruebas pertinentes del color azul cobalto establecidas en la NOM-132-SCFI-1998 “Talavera Especificaciones”, asegurando su relevancia y aplicabilidad en la producción de Talavera.
- II. Determinar y comparar el contenido de cobalto en las muestras de Talavera antes y después del tratamiento térmico.
- III. Caracterizar la cerámica de Talavera y el azul cobalto después del tratamiento térmico mediante las técnicas de Absorción de agua, Corrosión, Apariencia, Espectroscopía de Energía Dispersiva de rayos X (EDS), y Tomografía Computarizada de rayos X (CT).
- IV. Proponer los procedimientos correspondientes a las técnicas de análisis de Espectroscopía de Energía Dispersiva de rayos X (EDS) y Tomografía Computarizada de rayos X (CT).

Capítulo 2 Desarrollo Experimental

2.1 Análisis de apariencia

2.1.1 Análisis de apariencia en cuerpo cerámico (Jahuete)

Para esta prueba, se utilizó un catálogo Pantone (*Pantone The Plus Series, Formula Guide Solid Coated*) como instrumento de medición en colorimetría.

Durante el desarrollo de la prueba, se aplicó la metodología establecida para la caracterización de la apariencia en piezas terminadas, conforme a la NOM-132-SCFI-1998. Esta norma estipulaba que el cuerpo cerámico de las piezas terminadas, en sus bases no esmaltadas, debía presentar un color que tendrá una variación entre crema y naranja, siguiendo los intervalos determinados por los colores mate de Pantone 155C, 156C y 157C. Esta prueba se realizó sobre el cuerpo cerámico después de la primera cocción, con el objetivo de estandarizar el color alcanzado por el jahuete dentro del intervalo de temperaturas establecido por la NOM-132-SCFI-1998.

Durante el proceso de análisis, las piezas fueron colocadas sobre una superficie oscura, opaca y no reflejante, en un cuarto iluminado con luz blanca. Una vez establecidas las condiciones adecuadas de trabajo, se inició la comparación con los pantones estipulados por la NOM-132-SCFI-1998 (155C, 156C, 157C). Si al observar los pantones se determinaba que no coincidían con el color de la pieza analizada, se identificaba en el catálogo un número de Pantone que concordara con el color del cuerpo cerámico (Figura 15).



Figura 15. Cuerpo cerámico de una loza con el Pantone correspondiente.

2.1.2 Análisis de apariencia en pieza terminada

Para el desarrollo de la prueba, se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Catálogo Pantone (*Pantone The Plus Series, Formula Guide Solid Coated*).
- Microscopio digital (4.3 INCH LCD DIGITAL MICROSCOPE, CON AMPLIFICACIÓN 1-100X).

El análisis de esta prueba se llevó a cabo mediante la técnica descrita por la NOM-132-SCFI-1998. Dicha técnica constaba de varios parámetros a verificar, que eran:

1. Análisis del cuerpo cerámico.
2. Porosidad
3. Craquelado
4. Borde esmaltado
5. Relieve en color azul cobalto y amarillo

1.1 En este paso, la prueba consistió en colocar una pieza de Talavera con la cara inferior hacia arriba sobre una superficie uniforme y no reflejante, iluminada con luz blanca. Con el catálogo Pantone (*Pantone The Plus Series, Formula Guide Solid Coated*), se verificó si los números establecidos por la norma concordaban con los colores del cuerpo cerámico de la pieza (155C, 156C, 157C). En caso de no concordar, se buscó el número de Pantone correspondiente en cada caso (Figuras 16 y 17).



Figura 17. Cuerpo cerámico de pieza terminada con un numeral de Pantone sugerido por la NOM 132-SCFI.



Figura 16. Cuerpo cerámico de pieza terminada con un numeral de Pantone correspondiente.

2.1 Para comprobar la presencia de porosidad en las piezas, se utilizó el microscopio digital (4.3 INCH LCD DIGITAL MICROSCOPE, con amplificación 1-100X), el cual permitió ampliar ciertas áreas específicas y, con ello, observar la presencia de poros en forma de burbujas y/o poros no cerrados (Figura 18).

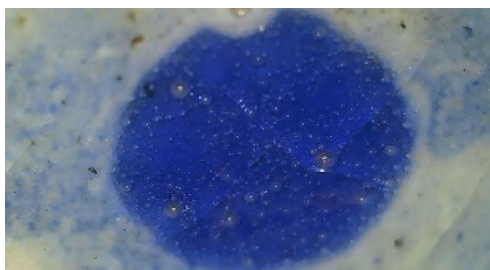


Figura 18. Poros expuestos en forma de burbujas en gota de color azul cobalto.

3.1 Para la comprobación de la característica correspondiente al craquelado de las piezas, se utilizó un método visual junto con el microscopio digital (4.3 INCH LCD DIGITAL MICROSCOPE, con amplificación 1-100x), lo cual permitió observar la presencia de grietas y ampliarlas para lograr una mejor apreciación de estas (Figuras 19 y 20).

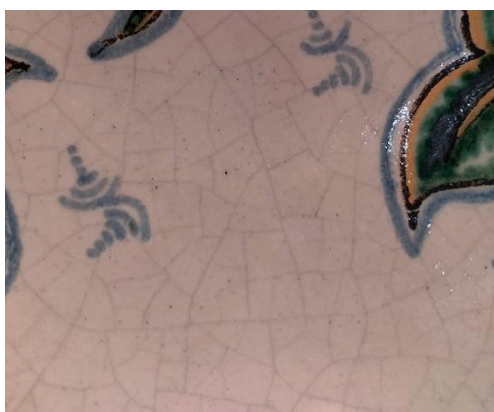


Figura 20. Craquelado a simple vista.

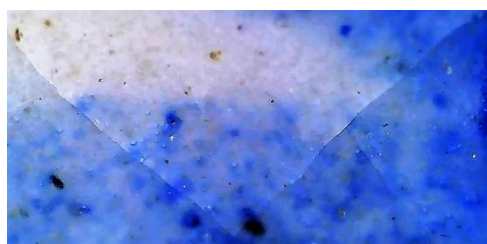


Figura 19. Craquelado visto desde el microscopio digital.

4.1 Para la característica del borde esmaltado, se empleó el microscopio digital (4.3 INCH LCD DIGITAL MICROSCOPE, con amplificación 1-100x), con el cual se buscó observar un aspecto difuso de los colores en el borde de la pieza (Figura 21).



Figura 21. Borde esmaltado de aspecto difuso, visto desde el microscopio digital.

5.1 Para la ejecución de la prueba de relieve en color azul cobalto, la metodología a seguir consistió en el uso de los sentidos visual y táctil, los cuales permitieron apreciar el relieve o la ausencia de este en las piezas. En aquellas cuya característica no era perceptible, fue necesario confirmarla mediante el uso del microscopio digital (4.3 INCH LCD DIGITAL MICROSCOPE, con amplificación 1-100x), en el cual se esperaba observar un ligero abultamiento o relieve que confirmara la presencia del color azul cobalto. (Figuras 22 y 23).



Figura 23. Relieve de color azul cobalto



Figura 22. Gota de color azul cobalto vista desde el microscopio digital.

2.2 Análisis de absorción de agua

2.2.1 Análisis Absorción de agua en cuerpo cerámico (Jahuete) y pieza terminada

El análisis se realizó con piezas que tuvieran una capacidad aproximada de entre 150 mL y 500 mL. Dichas piezas fueron limpiadas con un paño de tela para eliminar impurezas o polvo. Posteriormente a esa limpieza, se pesaron en una balanza digital (*OHAUS PA523*, Max $\leq 520\text{g}$ $d= 0.001\text{g}$). Una vez obtenido el peso de las piezas, se colocaron en charolas de plástico y se llenaron con agua destilada hasta su máxima capacidad, cuidando que el agua no se desbordara. Después de verter el agua en las piezas, se dejó reposar por un lapso de una hora. Transcurrido ese tiempo, se retiró el agua y, con un paño absorbente de tela, se secó la pieza y se procedió a pesarla y registrar el peso. Luego, las piezas fueron colocadas nuevamente en las charolas y se volvieron a llenar con agua destilada; sin embargo, esta vez el tiempo de reposo fue de 24 horas. Al finalizar ese periodo, se retiró el agua, se secó la pieza y se pesó nuevamente. Una vez concluido todo el proceso anteriormente descrito, se obtuvieron los pesos iniciales, intermedios y finales de todas las piezas, siguiendo las ecuaciones establecidas por la NOM para determinar el porcentaje de absorción, las cuales se presentan a continuación (Figuras 24 y 25).)



Figura 24. Piezas de jahuete durante el análisis de absorción de agua.



Figura 25. Pieza de jahuete después del análisis de absorción de agua.

Después de la primera hora se obtiene un diferencial de peso dado por:

$$DP_1 = P_1 - P_0 \quad [\text{Ec. 1}]$$

Donde:

DP_1 = Diferencial de peso inicial.

P_1 = Peso de la muestra después de ser sometida al análisis de absorción de agua durante una hora.

P_0 = Peso inicial de la muestra seca, antes de iniciar el análisis de absorción



Figura 26. Piezas terminadas durante el análisis de absorción de agua



Figura 27. Pieza terminada durante el análisis de absorción de agua

Nota: El procedimiento de Absorción de Agua en Jahuete se propone para su implementación a la NOM-132-SCFI-1998 en este proyecto, ya que, durante la elaboración y estudio de este trabajo nos pudimos percatar que el cuerpo cerámico Jahuete es una parte fundamental para la resistencia y fuerza que debe soportar durante los dos tratamientos térmicos que se requieren durante el proceso de elaboración de la Talavera y de no presentarlo la cerámica se debilita y no es apta para considerarse de buena calidad.

Para calcular el porcentaje inicial de absorción de cada pieza se utilizó la siguiente ecuación.

$$\% \text{ inicial de absorción} = \frac{(DP_1)(100)}{P_0} \quad [\text{Ec. 2}]$$

Para el diferencial de peso después de las 24 horas es:

$$DP_2 = P_f - P_0 \quad [\text{Ec. 3}]$$

Donde:

DP_2 = Diferencial de peso final.

P_f = Peso final de la muestra después de ser sometida al análisis de absorción de agua durante 24 horas.

P_0 = Peso inicial de la muestra seca, antes de iniciar el análisis de absorción.

Para el porcentaje final de peso se ocupó:

$$\% \text{ final de absorción} = \frac{(DP_2)(100)}{P_0} \quad [\text{Ec. 4}]$$

Obtenidos los diferenciales de pesos y lo porcentajes de absorción se procedió a hacer una diferencia de porcentajes mediante la ecuación:

$$\text{Diferencia de porcentajes} = \% \text{ final} - \% \text{ inicial} \quad [\text{Ec. 5}]$$

El porcentaje de absorción de pieza terminada según la NOM es de $\pm 12.10\%$ durante la primer hora y $\pm 0.5\%$ durante la segunda hora, el valor esperado para las piezas de jahuete no está establecido en la NOM, ya que es una prueba propuesta dentro de este trabajo para poder confirmar la resistencia del cuerpo cerámico después del tratamiento térmico.

2.3 Análisis de cobalto en el color azul.

2.3.1 Análisis de cobalto en el color azul antes del tratamiento térmico en Talavera Poblana.

Materiales, Reactivos y Equipos utilizados:

Reactivos

- Pintura azul cobalto
- HF (concentrado)
- HNO_3 (concentrado)
- Hidróxido de amonio 1M
- Murexida
- EDTA 0.05M
- Agua destilada
- Papel filtro whatmann # 1
- Vaso de precipitados de 50 ml.
- Matraz de aforado de 100 ml
- Matraz Erlenmeyer de 100 ml
- Bureta de 25 ml
- Pipeta de PP 10 ml
- Probeta de 50 ml

Material

- Platillo de aluminio
- Mortero de ágata
- Tamizador
- Vaso de precipitado de Polipropileno
- Vaso de precipitado de 1 litro.
- Embudo de filtración

Equipos

- Mufla de calentamiento de 1100°C
- Balanza digital
- Parrilla de calentamiento
- Campana de extracción

Para este análisis, se mezcló bien la muestra de pintura azul cobalto hasta homogenizarla. Posteriormente, se colocó una muestra en un platillo de aluminio, y se introdujo en una mufla de calentamiento a 100°C durante 12 horas, con el fin de eliminar toda la humedad presente. Al cumplirse el tiempo de secado, se dejó dentro de la mufla hasta que estuviera a temperatura ambiente. Una vez obtenida la muestra seca y sin humedad, se molió en un mortero de ágata para

homogenizar el polvo. Después de la molienda, la muestra paso por un proceso de tamizaje utilizando un tamiz (Malla N° 200 con 0.027 M.M y 0.0029 pulgadas). Posteriormente, se guardó y etiqueto en una bolsa o sobre papel y se introdujo a un desecador para eliminar la humedad que pudiera haber adquirido durante el proceso de molienda y tamizaje. Luego de una hora dentro del desecador, se pesó 1g de muestra, que se introdujo en un vaso de precipitado de polipropileno (el cual es el único material resistente a la corrosión del HF). Se monto un sistema a baño maría con una parrilla de calentamiento, un vaso de precipitado de 1 litro y agua dentro de una campana de extracción. El agua del baño maría se calentó hasta ebullición. Una vez montado el sistema en la parrilla de calentamiento, se agregaron 3 mL de ácido fluorhídrico concentrado (HF) a la muestra, lo que provocó un cambio de coloración en la muestra, volviéndola ligeramente rosácea y liberando vapores. Luego se añadieron 0.5 mL de ácido nítrico concentrado (HNO_3) obteniéndose una solución de color rosáceo como se muestra en la Figura 28.

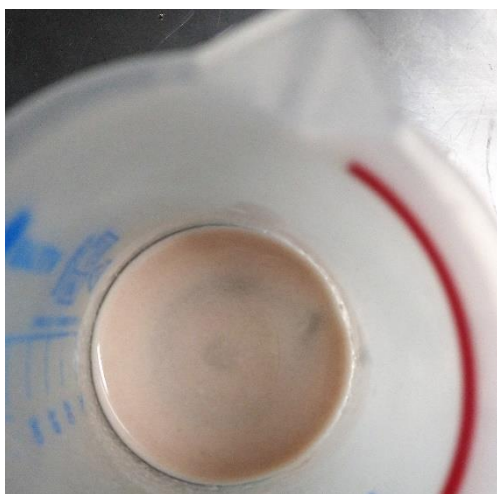


Figura 28. solución de azul cobalto con HF y HNO_3

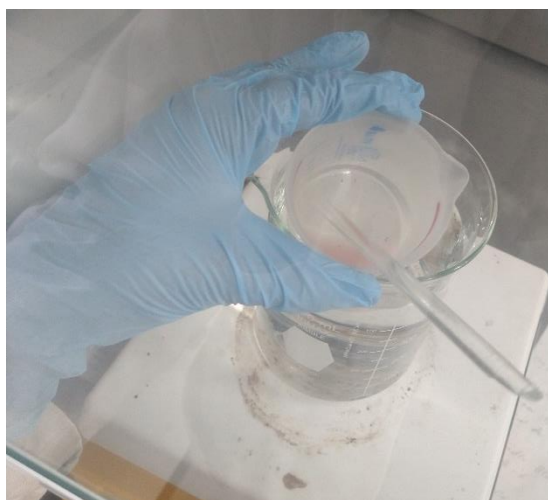


Figura 29. Solución de azul cobalto con HF y HNO_3 a baño maría.

Obtenida la solución, se colocó a baño maría como se muestra en la Figura 29, hasta evaporarse y obtener una pasta de color rosa. Esta pasta fue diluida con un poco de agua destilada para poder transferirla al embudo de filtración con un papel filtro. Las aguas madres recolectadas de la filtración fueron trasvasadas a un matraz aforado, y se agregó agua destilada hasta aforar a 100 mL. De esa

solución, con una probeta de 10 mL se tomó una alícuota que se introdujo en un matraz Erlenmeyer de 150 mL. Dicha alícuota fue diluida con 50 mL adicionales de agua destilada.

Para la valoración volumétrica se montó un sistema con una bureta de 25 mL, sostenida en un soporte universal y por una pinza para buretas, como se muestra en la Figura 30.



Figura 30. Sistema armado de valoración volumétrica (Soporte universal, pinza para buretas y Bureta de 25 ml)

La dilución antes mencionada fue valorada volumétricamente con hidróxido de amonio (NH_4OH) 0.1 M hasta alcanzar un $\text{pH} = 6$. Una vez alcanzado el pH , se agregó indicador murexida, el cual es un excelente indicador complejométrico utilizado para valorar los metales presentes en la solución, en este caso el cobalto.

Para la preparación de este indicador, se molieron 200g de murexida con 100 g de cloruro de sodio, para posteriormente tamizarlo y obtener un polvo fino.

Una vez agregado el indicador se valoró nuevamente la muestra volumétricamente con hidróxido de amonio hasta obtener un cambio de color hacia el amarillo, como se muestra en la Figura 31.



Figura 31. Vire amarillo del indicador murexida en la solución de cobalto, con NH_4OH

Una vez obtenido el cambio de color al amarillo, se procedió a titular con EDTA 0.05M hasta que se observó un cambio de coloración ligeramente rosado y/o que el color no desapareciera (Figura 32).

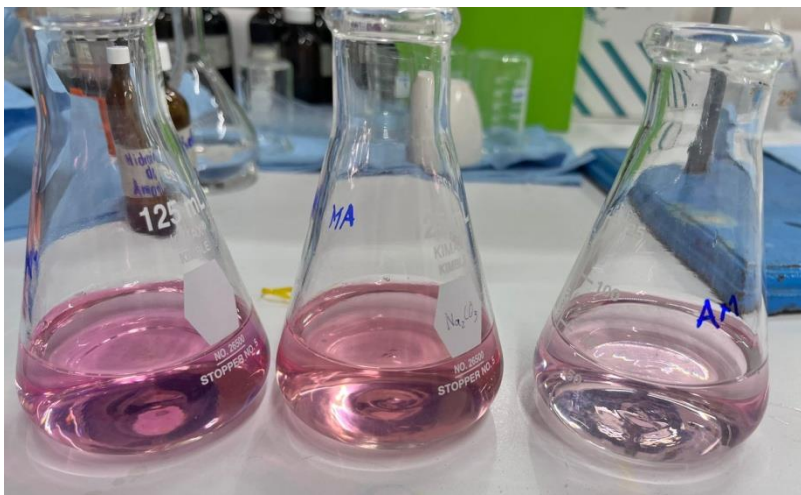


Figura 32. Vire de color rosado después de la valoración de EDTA con la solución de cobalto.

La cantidad de cobalto presente en la muestra fue obtenida por la cantidad de EDTA gastado durante la valoración volumétrica, según la siguiente relación:

$$1 \text{ mL de EDTA } 0.05 \text{ M} = 2.496 \text{ mg de cobalto}$$

Y el porcentaje de cobalto en la muestra se obtuvo por la siguiente ecuación.

$$\% \text{ de Cobalto} = (\text{mL de EDTA gastados})(2.496)$$

2.3.2 Análisis de cobalto en pintura azul después del tratamiento térmico en Talavera Poblana.

Este análisis no está determinado por la NOM-132 SCFI-1998, pero se realizó siguiendo el proceso descrito anteriormente.

Reactivos

- Pintura azul cobalto después del tratamiento térmico.
- HF (concentrado)
- HNO_3 (concentrado)
- Hidróxido de amonio 1M
- Murexida
- EDTA estándar 0.05M

Material

- Platillo de aluminio
- Mortero de porcelana
- Tamizador
- Vaso de precipitado de Polipropileno
- Vaso de precipitado de 1 litro.

- Matraz kitazato
- Agua destilada

- Embudo de filtración

- Papel filtro.

Equipos

- Matraz de aforación de 100 ml

- Matraz Erlenmeyer de 100 ml

- Bureta de 25 ml

- Pipeta de PP de 10 ml

- Probeta de 50 ml

- Mufla de calentamiento de 1100°C

- Balanza digital

- Parrilla de calentamiento

- Campana de extracción

El proceso de obtención de pintura azul después del horneado se realizó de dos maneras:

En el primer proceso, se utilizó un taladro rotativo (Dewalt, de ¼ de pulgada con una velocidad de rotación de 600 revoluciones por minuto y 380 W de potencia) y discos de corte diamante de 40 mm. Se cortó una loza de color azul en distintas secciones para, posteriormente, quitar el jahuete al que estaba adherida la pintura, hasta obtener finas hojuelas de color azul cobalto (Figura 33 y Figura 34). Estas hojuelas fueron introducidas en una charola de aluminio, para luego ingresarlas a la mufla durante 10 horas a una temperatura de 110°C con el fin de eliminar impurezas y/o humedad de la pieza. Después de transcurrido el tiempo de secado, se dejaron dentro de la mufla hasta enfriarse o alcanzar la temperatura ambiente. Posteriormente, se trituraron en un mortero de porcelana y se tamizaron hasta obtener un polvo fino. Este polvo fue introducido en bolsas de plástico o sobres de papel con sus respectivos códigos y se colocaron en un desecador para eliminar cualquier humedad que pudiera haberse acumulado durante el proceso de molienda o tamizado.



Figura 33. Hojuelas de color azul cobalto aun con jahuete.



Figura 34. Hojuelas de azul cobalto, después del limado y sin jahuete.

Con las muestras de pintura líquida, se depositaron gotas sobre un jahuete (Figura 35) y se hornearon durante 12 horas, iniciando con una temperatura de 50°C y aumentándola gradualmente en intervalos de 50°C hasta alcanzar los 1050°C, con el fin de obtener una gota de pintura cristalizada y dura (Figura 36 y 37).



Figura 35. Muestras de azul cobalto antes del tratamiento térmico.



Figura 36. Gota de pintura azul cobalto antes del horneado.



Figura 37. Gota de pintura azul cobalto después del horneado y desmoldada del jahuete.

Después del horneado y la obtención de las gotas, se procedió a triturarlas hasta obtener un polvo fino, el cual fue posteriormente tamizado. Una vez finalizado el proceso de tamizaje, el polvo se introdujo en sobres de papel o bolsas de plástico con sus respectivos códigos y estos, a su vez se colocaron en un desecador para eliminar la humedad adquirida durante los proceso de molienda (Figura 38) y tamizado (Figura 39), las muestras fueron resguardadas durante un tiempo para su posterior análisis.



Figura 39. Azul cobalto siendo triturado en el mortero de porcelana.



Figura 38. Polvo de azul cobalto después del tamizado.

Después de la obtención del color azul cobalto, se realizó el análisis conforme al procedimiento descrito en el apartado 3.7, “*Análisis de cobalto en pintura azul antes del tratamiento térmico en Talavera Poblana*”, estipulado por la NOM-132-SCFI “Especificaciones Talavera” en el cual establece el siguiente proceso analítico.

Antes de iniciar el análisis, se montó un sistema de baño maría utilizando un vaso de precipitado de 1000 mL colocado sobre una parrilla de calentamiento, todo dentro de una campana de extracción. Al vaso se le añadieron 800 mL de agua y se encendió la parrilla para comenzar el calentamiento.

Posteriormente, se tomó una muestra del polvo de azul cobalto (aproximadamente 1g), la cual fue introducida en un vaso de precipitados de polipropileno. A esta muestra se le agregaron 3 mL de ácido fluorhídrico (HF) y 1 mL de ácido nítrico (HNO_3). Todo este procedimiento se llevó a cabo bajo la campana de extracción, debido a la emisión de vapores perceptibles al contacto de los ácidos con la muestra. Como resultado, la muestra cambió de un color azul grisáceo a un tono rosa pálido. (Figura 40).

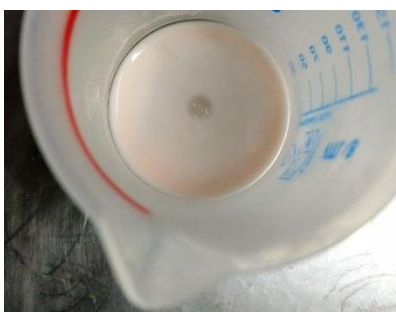


Figura 40. Muestra de azul cobalto con ácidos HF y HNO_3

Después de agregar los ácidos a la muestra, esta fue colocada en el sistema de baño maría hasta que se evaporó completamente el contenido líquido y se obtuvo una pasta color rosa pálido (Figura 41)

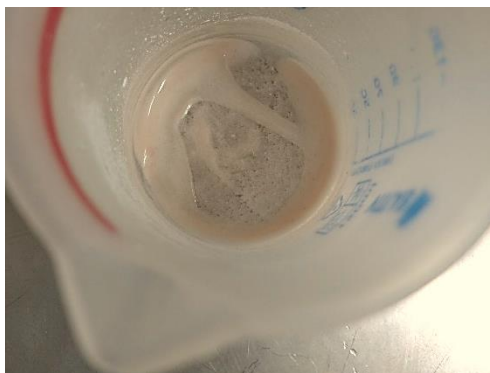


Figura 41. Pasta de color rosa después del proceso de evaporación.

Una vez obtenida la pasta, se procedió a filtrarla al vacío. El proceso de enjuague y dilución se realizó hasta que no quedaron residuos visibles en el vaso de precipitados. Todas las aguas obtenidas del enjuague fueron también filtradas. Las aguas madres resultantes, en algunos casos, presentaron coloración rosa ligera rosa turbio. Estas se trasvasaron a un matraz de aforado de 100 mL, y se completó el volumen con agua destilada hasta la marca. De esta solución se tomaron 10 mL, los cuales se transfirieron a un matraz Erlenmeyer y se diluyeron con 50 mL adicionales de agua destilada.

Para la valoración volumétrica se instaló un sistema con dos buretas graduadas de 25 mL, sostenidas por una pinza doble y un soporte universal. Una vez montado el sistema, se llenaron las buretas con hidróxido de amonio (NH_4OH) 1M y EDTA 0.05M. En el primer paso del análisis de cobalto, se valoró la solución con NH_4OH 1M hasta alcanzar un $\text{pH} \geq 6$. Alcanzado el pH deseado, se añadió el indicador murexida (cuya preparación se describe en el apartado 3.7 “Análisis de cobalto en pintura azul antes del tratamiento térmico en Talavera Poblana”) y se continuó agregando hidróxido de amonio 1M (NH_4OH) hasta observar un viraje de color amarillo (Figura 42). Una vez alcanzado el cambio de color, se procedió a valorar la solución con EDTA 0.05M hasta obtener un viraje final a color rosa (Figura 43). Cabe señalar que, debido a la propia coloración del indicador murexida, el tono rosa obtenido puede ser intenso, incluso un rosa mexicano o vino, lo cual no implica que la solución haya sobrepasado su punto de equilibrio.



Figura 42. Muestras de color azul cobalto después del exceso de NaOH y murexida



Figura 43. Muestras de color azul cobalto en el punto de equilibrio con indicador murexida.

La cuantificación de cobalto se obtuvo con los mililitros gastados de EDTA en la titulación y con la relación siguiente:

$$1 \text{ mL de EDTA } 0.05\text{M} = 2.496 \text{ mg de Cobalto.}$$

Y el porcentaje de cobalto se calculó de acuerdo con la ecuación.

$$\% \text{ de cobalto} = (\text{mL de EDTA gastados})(2.946).$$

NOTA: Este análisis no está descrito en la NOM-132-SCFI-1998 por lo que su estudio es una propuesta para los Talaveranos y su aplicación en la actualización de Norma de Calidad, con el objetivo de poder realizar una comparativa del porcentaje de cobalto antes y después del horneado, cabe señalar que los pasos descritos en este trabajo siguiendo la NOM se tuvieron que detallar y ajustar ya que la descripción no era suficiente para ser replicada, es por eso que se propone el uso de un sistema de filtrado con vacío y papel filtro normal, así como también el sistema propuesto para la valoración de las alícuotas descrito en el procedimiento antes mencionado.

2.4 Análisis de Tomografía Computarizada

2.4.1 Análisis de Tomografía Computarizada en pieza terminada de Talavera Poblana (porosidad, inclusión y espesor de esmalte).

Este análisis físico no está contemplado en la NOM-132-SCFI-1998 “Especificaciones Talavera” sin embargo, se sugiere su aplicación para la determinación del espesor de esmalte con mayor precisión, la porosidad que presenta tanto el cuerpo cerámico (Jahuete) como en la zona esmaltada (cuantificar la cantidad ya que en la NOM no está indicada), así como también para identificar la presencia de inclusiones en la pieza, sin necesidad de destruir o dañar el material analizado. Además, este método permite estudiar piezas de diversas formas y dimensiones, recreando en todas las piezas una zona de interés con dimensiones comparables.

Materiales

- Lozas de Talavera Poblana de color azul cobalto (Piezas nuevas o retazos)

Equipos y/o softwares

- Tomógrafo computarizado Nikon de fuente dual (450 kV/250 kV) Tipo Manchester 1
- Software VG Studio Max 3.3.

El análisis se inicia montando la pieza sobre un soporte de unicel, el cual se coloca dentro de la caseta de inspección. La muestra se centra en su propio eje sobre la mesa de trabajo como se muestra en las Figuras (44 y 45)

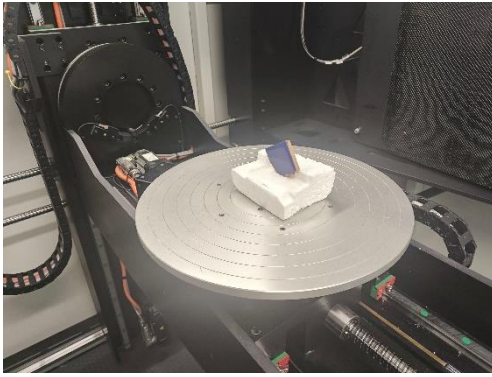


Figura 45. Loza de Talavera azul cobalto montada en un soporte de unicel, dentro de la caseta de inspección y en la mesa del trabajo.

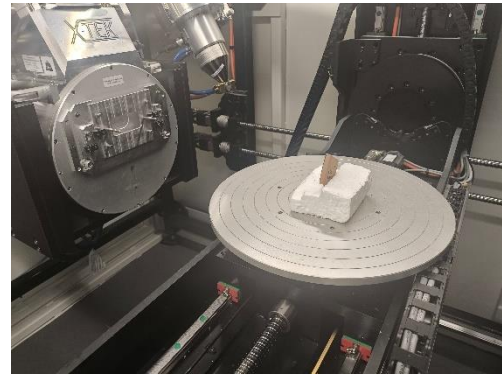


Figura 44. Loza de Talavera de color azul cobalto vista lateral, dentro de la cabina de inspección, centrada en su propio eje y puesta sobre la mesa de trabajo.

Posteriormente se lleva a cabo el proceso de escaneo, el cual consiste en posicionar la pieza lo más cerca posible al cañón de rayos X y centrada sobre su propio eje en la mesa de trabajo. Una vez colocada adecuadamente se procese a ajustar los parámetros del escaneo, tales como el voltaje, amperaje, potencia, tiempo de exposición y duración total del análisis. (Figuras 46 y 47)

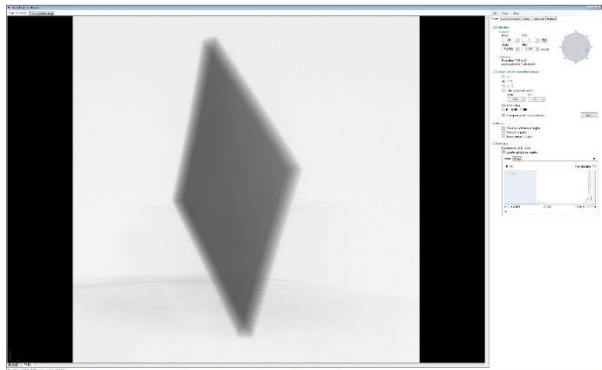


Figura 47. Loza de Talavera, después del proceso de escaneo y el ajuste de los parámetros.

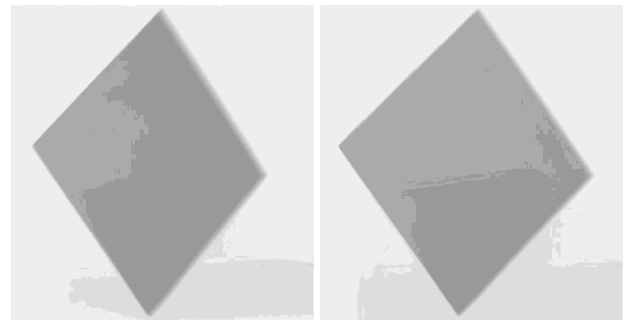


Figura 46. Imágenes radiográficas de la loza de Talavera azul cobalto, antes de la reconstrucción 3D.

Una vez obtenido el conjunto de datos radiográficos de la pieza analizada, se procede a realizar la reconstrucción tridimensional de la misma, utilizando el software correspondiente (Figura 48).

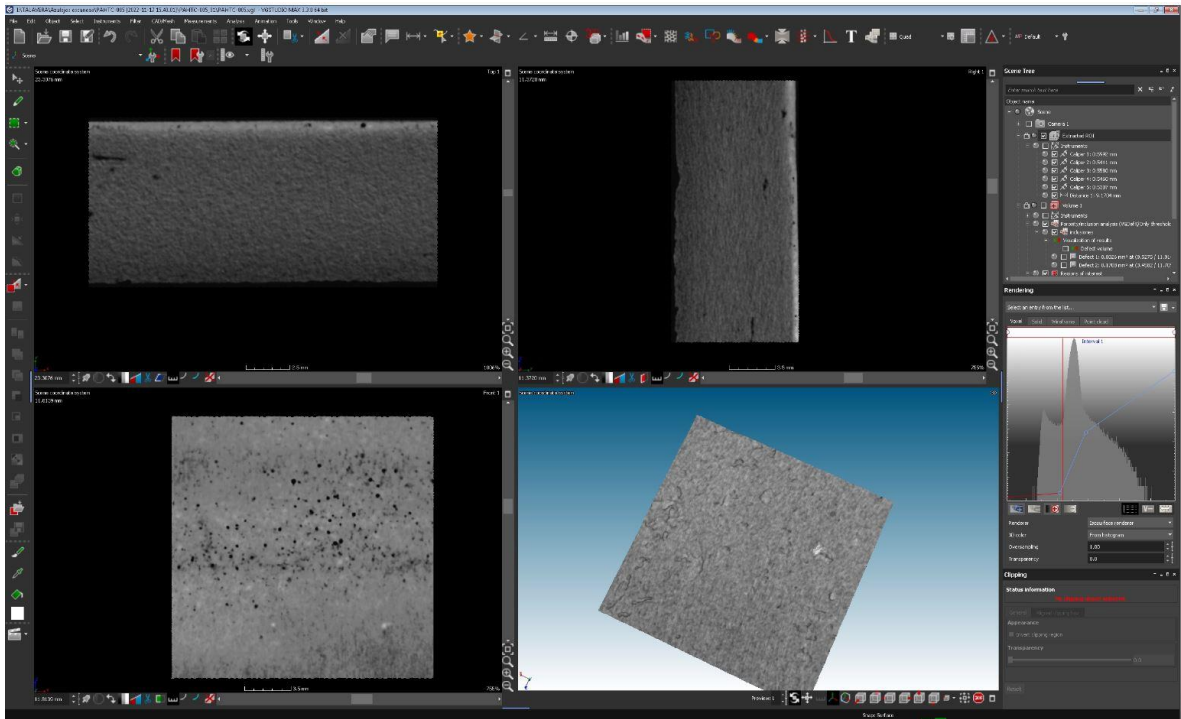


Figura 48. Reconstrucción 3D de la loza de Talavera de azul cobalto, mediante el software VG Studio Max 3.3

Una vez realizada la reconstrucción 3D en el software (VG Studio Max 3.3) se definió una región de interés digital (ROI) en la muestra analizada, con dimensiones de 20 mm X 20 mm y una profundidad de 10 mm (Figura 49).

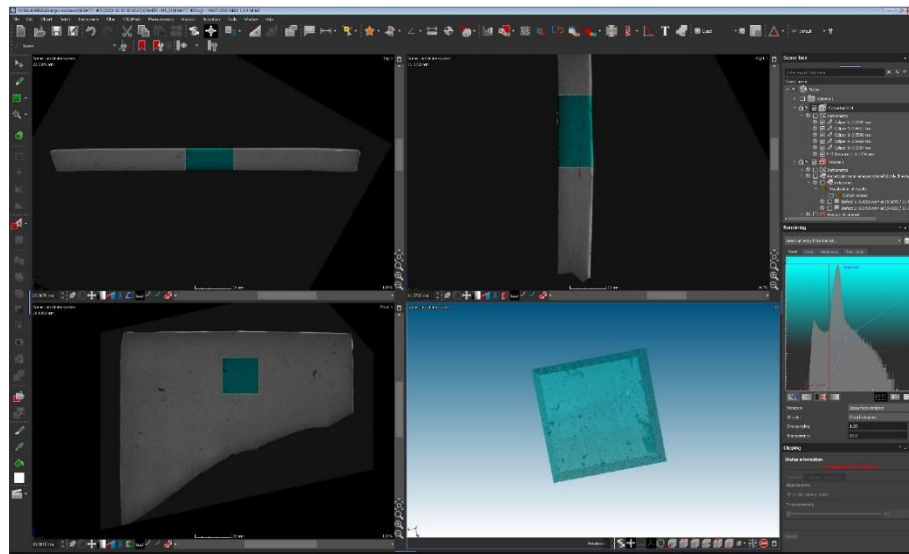


Figura 49. Elección de la región de interés (área a analizar).

Finalmente, se realizó el análisis de **porosidad e inclusiones** utilizando un rango de búsqueda de 4 Voxels a 300 Voxels para cada una de las piezas. (Figura 50 y 51). A partir de este análisis se obtuvo información estadística, dimensional y de imagen para cada muestra.

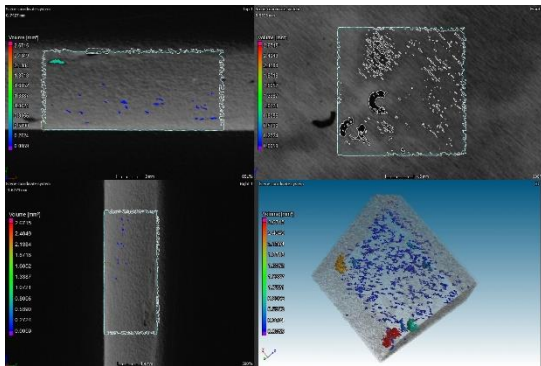


Figura 51. Región de interés en la cual se obtuvo la porosidad de la pieza.

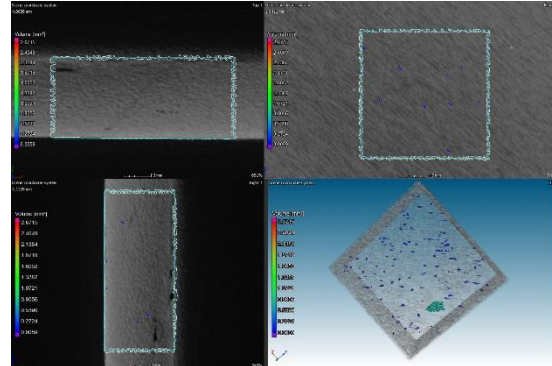


Figura 50. Región de interés en la cual se obtuvo las inclusiones presentes en la pieza.

Para el análisis del **espesor de esmalte**, una vez obtenida la región de interés antes mencionada, se procedió a dimensionar el espesor en 5 puntos distintos, como se muestra en la (Figura 52). Tras realizar estas mediciones, se exportó la información dimensional y las imágenes correspondientes de cada muestra (Figura 53)

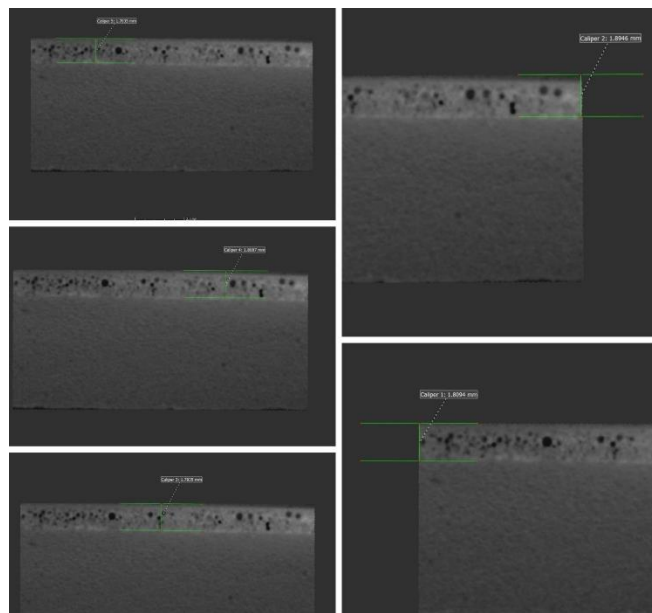


Figura 52. Mediciones del espesor de esmalte en 5 diferentes puntos de la pieza.

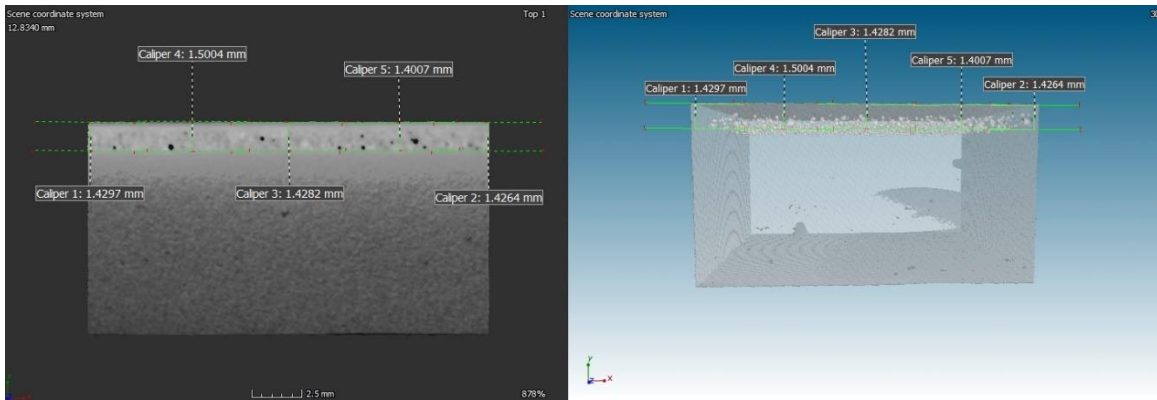


Figura 53. Medición del espesor de esmalte en 2D y 3D, empezando por los laterales de la pieza hasta llegar al centro (5 puntos de medición).

2.5 Análisis de corrosión.

2.5.1 Análisis de corrosión en pieza de Talavera Poblana.

Este análisis se encontró estipulado por la NOM-132-SCFI-1998 “Especificaciones Talavera” el cual tuvo como propósito estudiar el comportamiento de la superficie vidriada de la pieza tras haberla expuesto a determinadas sustancias químicas de carácter corrosivo.

Reactivos

- Ácido fluorhídrico (HF) al 30%
- Agua destilada

Materiales

- Platos hondos o semi hondos de color azul cobalto de Talavera Poblana.
- Paños de tela o microfibra.
- Pipeta de polipropileno de 10 ml

Equipos

- Microscopio Digital (4.3 INCH LCD DIGITAL MICROSCOPE, CON AMPLIFICACIÓN 1-100X)

Antes de iniciar con el análisis, se eligieron piezas que presentaban las características adecuadas (platos hondos o semihondos de color azul cobalto) y se preparó una dilución de ácido fluorhídrico (HF) concentrado al 30%. Una vez reunidos todos los materiales necesarios, se procedió a colocar la pieza sobre un soporte de unicel dentro de una campana de extracción, con el objetivo de que el ácido añadido se concentrará en una sola área de la superficie y facilitará su análisis.

Una vez posicionada correctamente la pieza (Figura 55), se aplicaron 3 mL de HF al 30% en la zona delimitada para el análisis. La muestra se dejó en reposo durante 35 min, observando periódicamente que el ácido no se absorbiera completamente. En caso de observarse absorción por parte de la pieza, se añadía 1mL adicional de HF al 30%. Transcurrido el tiempo de exposición, la pieza fue enjuagada con abundante agua destilada, y el área tratada se tallo cuidadosamente con un paño de tela para eliminar cualquier residuo resultante de la reacción. Finalmente, la muestra fue secada completamente para ser colocada bajo el microscopio digital y permitir la observación detallada del deterioro causado por el ácido. (Figura 54 y 56).



Figura 55. Pieza con HF al 30%



Figura 54. Pieza después del tiempo del análisis de corrosión y lavado.



Figura 56. Pieza después del análisis de corrosión vista bajo el microscopio electrónico.

2.6 Análisis de Espectroscopía de energía dispersiva (EDS)

2.6.1 Análisis de Espectroscopía de energía dispersiva (EDS) en muestras de color azul cobalto.

En este análisis no se encontró estipulado en la NOM-132-SCFI-1998, sin embargo, se propuso su uso para realizar un conteo elemental en piezas o en pintura en polvo.

Materiales

- Lozas de color azul cobalto con dimensiones de 10x10 cm
- Pintura azul cobalto en polvo, libre de humedad.
- Cinta doble cara negra
- Cinta de plata para sujetar las piezas

Reactivos

- Alcohol isopropílico

Equipos

- Microscopio electrónico de barrido, acoplado a EDS.

En esta prueba se realizaron tres tipos de análisis, cada uno bajo condiciones específicas. Se comenzó con la preparación de las lozas de Talavera de color azul

cobalto, a partir de las cuales se obtuvieron cuadrados con dimensiones de 10x10 cm. Este corte se llevó a cabo utilizando un taladro con disco giratorio y un disco de corte diamantado. Una vez obtenidas las muestras, se procedió a limpiarlas con un paño de tela y alcohol isopropílico con el fin de eliminar cualquier impureza que pudiera ser detectada por el equipo. Posteriormente se colocó cinta negra doble cara en un soporte y se adhirieron las piezas con la cara vidriada hacia arriba. Una vez montadas, las muestras fueron introducidas en el *Microscopio electrónico de barrido, acoplado a EDS*. Ya dentro del equipo, se cerró la cabina de análisis y, mediante la cámara interna del microscopio, se verificó que las piezas estuvieran correctamente posicionadas y que el sistema funcionara adecuadamente. A continuación, se procedió a mover el detector para ubicar la zona de análisis y seleccionar la pieza correspondiente.

Para esta prueba, las muestras fueron analizadas en un *Microscopio electrónico de barrido, acoplado a EDS, Modelo JSM-6610LV, con una sonda Oxford a 20 keV, con un tiempo de análisis de 3 minutos por muestra, una distancia de trabajo de 10 mm, amplificación de 100x y un spotsize (apertura de electrones) de 60.*

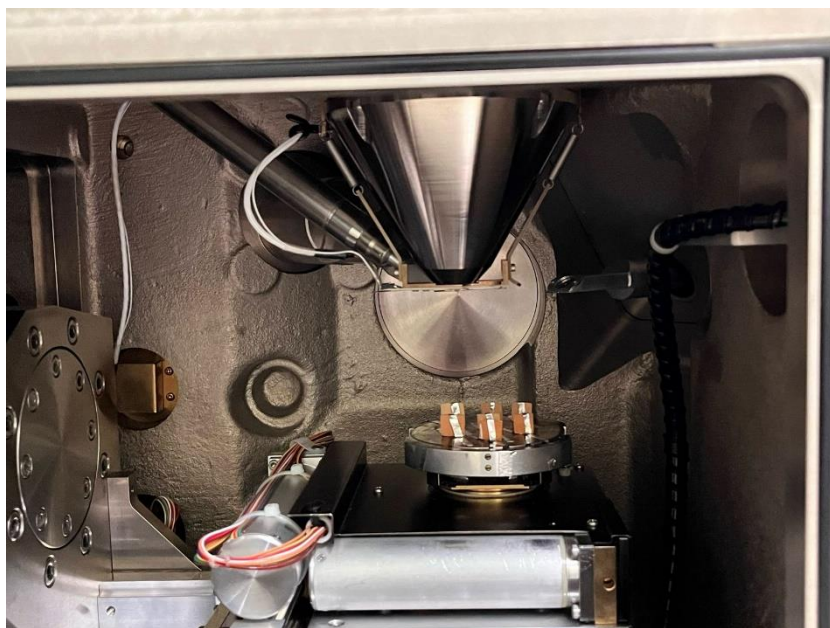


Figura 57. Cabina de análisis de EDS, con muestras montadas.

En este estudio se realizaron análisis en dos zonas de la pieza:

1. En la zona superficial se determinó una zona de interés.
2. El análisis transversal se efectuó para observar la interfaz del corte entre el cuerpo cerámico y el azul cobalto.
3. En el análisis de polvos se determinó el contenido elemental de la pieza azul cobalto antes del tratamiento térmico.
4. Para el mapeo elemental se realizó un barrido superficial del área general de la pieza, y se determinó la ubicación de los elementos mediante la asignación de colores.

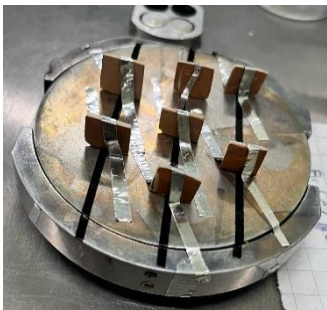


Figura 60. Piezas montadas en disco de análisis para estudio de zona transversal.



Figura 59. Piezas montadas en disco de análisis para estudio de la zona superficial.



Figura 58. Muestras de pintura en polvo de azul cobalto, montada sobre cinta doble cara y en el disco de análisis.

Capítulo 3 Resultados y discusión

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de las pruebas antes mencionadas en el *Capítulo 2*, de los cuales se trabajó con muestras de 7 talleres diferentes, con el fin de verificar los procedimientos establecidos en la NOM-132-SCFI-1998, los cuales se clasificaron de la siguiente manera.

La clasificación de los talleres participantes es la siguiente:

Tabla 1. Listado de los talleres analizados.

Número de Taller	Nombre del Taller
1	Talavera Las Américas
2	Talavera Armando
3	Talavera Celia
4	Talavera Catarina
5	Talavera De la Reina
6	Talavera De La Luz
7	Talavera Uriarte

Nota: Las piezas utilizadas en este trabajo fueron proporcionadas por los talleres de la Tabla 1. por medio del consejo regulador de Talavera.

3.1 Análisis de apariencia.

La técnica descrita en la NOM-132-SCFI-1998 consta de realizar una comparación de la muestra con los patrones de Pantone bajo luz blanca para poder conocer la tonalidad que alcanza la mezcla de arcillas después del primer tratamiento térmico.

3.1.1 Análisis de apariencia en cuerpo cerámico (jahuete) de Talavera Poblana.

La pieza de jahuete se puso bajo luz blanca en la que se hace una comparativa con los *pantones* establecidos en la NOM 132-SCFI-1998 para los bordes cerámicos, que son (155C, 156C, 157C).

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos del análisis de apariencia por patrón de Pantone:

Tabla 2. Patrones de Pantone obtenidos del análisis de apariencia.

Taller	Pieza	Número de Pantone Obtenido
Taller 1	Plato Trinche	479C
	Plato Postre	479C
Taller 2	Plato Trinche Chico	7514C
	Plato Trinche Grande	7514C
Taller 3	Plato Trinche	7591C
	Plato Semi Hondo	7591C
Taller 4	Plato Trinche	7591C
	Plato Postre	7591C
Taller 5	Plato Trinche	2432C

En la Tabla 2, se puede observar que los patrones de Pantone propuestos en la NOM 132-SCFI-1998 (155C, 156C, 157C) no concuerdan con los obtenidos en esta prueba de los cuales se buscaron los patrones de Pantone correspondientes y se obtuvieron los siguientes (479C, 7514C, 7591C, 2432C).



Figura 62. Pantone encontrado en el análisis de apariencia (Pantone número 7514U).



Figura 61. Pantone que concuerda con las piezas durante el análisis de apariencia. (Pantone número 7591 U).



Figura 64. Pantone que concuerda con las piezas durante el análisis de apariencia (Pantone número 479U).

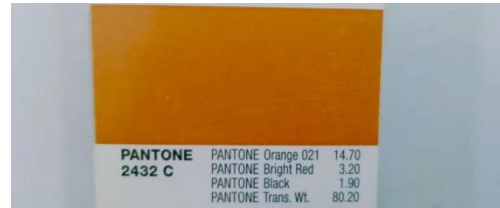


Figura 63. Pantone que concuerda con las piezas durante el análisis de apariencia (Pantone número 2432 U).

Se observa que en los talleres 3 y 4 hay un mismo numeral de Pantone, mientras que en los talleres 1, 2 y 5 los patrones de Pantone no son los mismos, esta diferencia de tonalidades nos da un indicio del cambio de contenido elemental en las arcillas provenientes de la denominada “zona de talavera”. Con los resultados obtenidos se sugiere que se realice una modificación en las tonalidades de Pantone en la NOM-132CSFI-1998 o la implementación de equipos de medición de color y valores de triestímulos, como CIE L (Luminosidad perceptual) *a (Valor del grado de rojo o verde) *b (valor de grado de amarillo o azul), con el fin de tener una mejor precisión en las tonalidades de los cuerpos cerámicos elaborados, esto ayudará a los talaveranos a identificar si los cuerpos cerámicos tienen la proporción de barro necesaria para su resistencia y para verificar si el cuerpo cerámico está siendo tratado térmicamente a una temperatura ($>800^{\circ}\text{C}$) adecuada para ser de buena calidad. (Anexo 1)

3.1.2. Análisis de apariencia para la caracterización de piezas terminadas en Talavera Poblana.

Para el análisis de piezas terminadas, se realizaron las pruebas visuales de comparación de tonalidades de Pantone, Porosidad, Craquelado, y pruebas de tacto al relieve de color azul cobalto y amarillo, características descritas en la NOM-132-SCFI-1998 en el apartado 6.5. El análisis inicia colocando las muestras bajo luz blanca en las que se analizó la colorimetría del cuerpo cerámico (155C, 156C, 157C), de manera visual se observó la porosidad en las piezas en forma de

pequeñas burbujas dentro del esmalte o color azul inclusive en algunas piezas era observable un poro de gran tamaño que no fue recubierto de esmalte base o de colores, en la prueba de craquelado, dentro de algunas piezas era observable la grieta o grietas por toda la pieza, mientras que en otras no era apreciable a simple vista, por lo que se utilizó un microscopio digital (4.3 INCH LCD DIGITAL MICROSCOPE, CON AMPLIFICACIÓN 1-100X), con el que se magnifico el área analizada de la pieza para así corroborar que tuviera porosidad y craquelado.



Figura 65. Pieza con porosidad y craquelado.

Para realizar el análisis del borde esmaltado se utilizó el microscopio antes mencionado, con el fin de magnificar el área y determinar si las piezas presentan o no este tipo de borde.

En la prueba de tacto para los colores azul cobalto y amarillo, se pudo observar, un relieve o gotas de dichos colores.



Figura 66. Relieve en color amarillo.



Figura 67. Relieve en el color azul cobalto.

Tabla 3. Resultados de la prueba de apariencia

Taller	Pieza	Cuerpo cerámico	Porosidad	Craquelado	Borde esmaltado	Relieve
Taller 1	Plato Trinche	728C	Sí	Sí	No	No
	Plato Postre	2311C	Sí	Sí	Sí	En color azul
	Plato Postre	2313C	Sí	Sí	No	En ambos colores
	Plato Trinche	714C	Sí	Sí	No	En ambos colores
Taller 2	Plato Trinche	7515C	Sí	No	Sí	En color azul
	Plato Trinche	2309C	Sí	No	Sí	En ambos colores
	Plato Trinche	2311C	Sí	Sí	Sí	En color amarillo
	Plato Trinche	7521C	Sí	Sí	No	En ambos colores
<Taller 3	Plato Trinche	477C	Sí	Sí	Sí	Parcialmente
	Plato Trinche	479C	Sí	Sí	Sí	En ambos colores
	Plato Postre	4635C	Sí	Sí	Sí	No
	Plato Postre	4645C	Sí	Sí	No	No
Taller 4	Plato Trinche	478C	Sí	Sí	No	En color azul
	Plato Trinche	4645C	Sí	Sí	No	En color azul
	Plato Postre	4655C	Sí	Sí	No	No
Taller 5	Plato Trinche	7608C	Sí	Sí	No	En color azul
	Plato Trinche	7516C	Sí	Sí	No	En ambos colores
	Plato Trinche	478C	Sí	Sí	No	En color azul
	Plato Trinche	480C	Sí	Sí	No	En color azul

En la Tabla 3 se recopilaron los datos de 5 talleres y 19 piezas que fueron analizadas por la prueba de apariencia, en la que se determinó que el cuerpo cerámico no presenta una repetitividad, ya que los patrones de Pantone de color variaron entre 9 tipos diferentes entre ellos tenemos: 19C, 33C, 36C, 228C, 230C, 231C, 232C, 234C (*Anexo 2*).

En la prueba de porosidad de manera visual y con aumento del microscopio digital (10X – 10000X con una resolución de pixeles de (3648 x 2736)) se pudo apreciar la porosidad en el área seleccionada, por lo que todos los talleres y las piezas analizadas cumplieron con la prueba. Al analizar el craquelado se pudo observar una variación, de las 19 piezas analizadas solo 17 piezas cumplieron con dicho requerimiento, ya que se observó que en el taller 2 de las cuatro piezas analizadas solo dos presentaron craquelado.

Al magnificar el área para realizar el análisis del borde esmaltado se pudo observar que 12 piezas de las 19 no cumplen con este aspecto, ya que todas las piezas analizadas de los talleres 4 y 5 no presentaron el borde difuso que exige la NOM-132-SCFI-1998, mientras que el taller 1 presenta solo un acierto del total de sus piezas y en los talleres 2 y 3, del total de piezas analizadas solo presentan una no conformidad por taller.

Para la prueba de relieve la cual fue realizada a tacto y con ayuda del microscopio digital se pudo identificar que de las 19 piezas analizadas solo 4 piezas no cumplieron con el criterio establecido por la norma, de las cuales 2 piezas pertenecientes al taller número 3, no presentan relieve en el color azul cobalto y/o color amarillo, ya que se aprecia una superficie uniforme.

De los resultados obtenidos pudimos observar que de las 5 características analizadas los talleres 1, 4 y 5 tendrían inconformidad con el borde difuso, esta característica depende del analista, lo que podría causar un error visual o un falso negativo o falso positivo, ya que no hay una medición adecuada, sin embargo, en el taller 2 el craquelado si se considera como no conformidad, ya que es una característica apreciable en las piezas que lo presentan.

De los 5 criterios a evaluar en esta prueba el azul cobalto, debe ser evaluado bajo la técnica de plumado, ya que por la técnica de borroneado no se aprecia el relieve y este color es una característica imprescindible de la Talavera Poblana.

3.2 Análisis de absorción de agua.

3.2.1 Análisis de absorción de agua en cuerpo cerámico (Jahuete) de Talavera Poblana.

Este tipo de análisis para cuerpo cerámico no está determinado por la NOM 132-SCFI-1998, pero se realizó con referencia a la prueba para pieza terminada. Según las consideraciones a tomar las piezas no deben de ser mayor a 500 mL ni menor a 150 mL por lo que se optó por analizar piezas como tazas, vasos o tarros.

Las piezas fueron limpiadas con un paño, para posteriormente ser pesadas, una vez que se obtuvo el peso en seco, se midieron 500 mL en una probeta y se agregó hasta antes del borde superior, de las piezas, posteriormente fueron puestas dentro de cajas Petri o recipientes, con el fin de contener el agua que se pudiera filtrar, una vez listas las piezas se dejaron en reposo durante una hora, pasado ese tiempo el agua dentro de la pieza fue vertida nuevamente a la probeta y se aforo al contenido inicial, mientras que el agua filtrada por la pieza fue medida con otra probeta, la pieza es secada con un paño y pesada en una balanza analítica (Ohaus Modelo PA523 con capacidad máxima de 520g y una diferencia de ± 0.001 g), después del primer proceso de una hora la pieza nuevamente se trató con agua destilada siguiendo el procedimiento antes mencionado pero ahora con un reposo de 24 horas. (Los datos obtenidos se encuentran en el *anexo 3*).

Con los resultados obtenidos se hizo un tratamiento de datos con las ecuaciones dadas por las NOM 132-SCFI-1998 las cuales nos dieron una variación entre el peso inicial de la pieza y el peso durante la primera hora y a las 24, así como la diferencia de porcentajes de absorción.

Se utilizaron las ecuaciones propuestas por la NOM 132-SCFI-1998 para la determinación de absorción de agua a 1h y a 24h, se muestran a continuación:

Se utilizaron las ecuaciones propuestas por la NOM 132-SCFI-1998 para la determinación de absorción de agua a 1h y a 24h, se muestran a continuación:

- Diferencia inicial de peso después de la primera hora:

$$DP_1 = P_i - P_0$$

- Porcentaje inicial de absorción:

$$\frac{DP_1(100)}{P_0}$$

- La diferencia de peso después de 24 horas es:

$$DP_2 = P_f - P_0$$

- Porcentaje final de absorción:

$$\frac{DP_2(100)}{P_0}$$

- La diferencia de porcentajes de agua absorbida entre la primera hora de prueba y las otras 24 horas es:

$$Diferencia\ de\ porcentajes = \%_{final} - \%_{inicial}$$

Donde:

- P_0 = Peso en seco de la muestra.
- P_i = Peso después de 1 hora de reposo.
- P_f = Peso después de 24 horas de reposo.
- DP_1 = Diferencial de peso después de 1 hora.

- DP_2 = Diferencial de peso después de 24 horas.

Los datos obtenidos de las ecuaciones anteriores se muestran en la Tabla 4

Tabla 4. Datos finales con los diferenciales de peso y diferencia de porcentaje obtenidos de la prueba de absorción en cuerpo cerámico (jahuete).

Taller	Número de muestra	DP_1	%Inicial	DP_2	% Final	Diferencia de porcentaje
Taller 1	1	41.152	15.218	45.262	16.738	1.52
	2	26.707	13.245	31.234	15.490	2.245
	3	16.675	14.654	19.233	16.902	2.248
Taller 2	4	36.934	21.667	40.377	23.687	2.02
	5	34.789	21.498	37.379	23.098	1.6
	6	42.364	20.607	46.051	22.400	1.793
Taller 3	7	16.701	14.122	19.173	16.212	2.09
	8	8.967	15.097	10.609	17.862	2.765
Taller 4	9	23.266	12.154	26.587	13.889	1.735
	10	23.628	13.332	26.616	15.019	1.687
	11	18.202	14.078	19.719	15.251	1.173
Taller 5	12	25.477	12.389	28.735	13.983	1.594
	13	24.113	13.411	26.347	14.653	1.242
	14	20.104	12.911	21.335	13.702	0.791

Mientras se procesaban las muestras se pudo observar que la mayoría de las piezas a los primeros minutos de reposo comenzaron a tener un cambio de coloración, atribuido a la absorción del agua en la estructura porosa del Jahuete, así como también una sensación perceptible de humedad, pero sin filtración observable, mientras que en otras piezas la filtración era evidente durante la primera media hora de reposo, este comportamiento se atribuye a la poca o

mucha permeabilidad que tiene las paredes del jahuete cuando se realiza el tratamiento térmico.

Con los resultados obtenidos en esta prueba a las piezas de Jahuete para la determinación de absorción de agua, la propuesta para su implementación a la NOM-132-SCFI-1998 que aporta este trabajo es que, al realizarla el análisis podrá corroborar la fuerza y resistencia que tiene el cuerpo cerámico, cuya resistencia se debe a la porosidad y al tratamiento térmico al cual es sometido durante el proceso de elaboración de Talavera, para que durante el segundo tratamiento térmico la pieza sea capaz de resistir la temperatura aplicada y sea una pieza terminada de calidad.

El tratamiento de datos para esta prueba es referenciado por las ecuaciones descritas en la NOM-132-SCFI-1998 en el apartado “ABORSCIÓN DE AGUA (sección 8.12)”, cabe señalar que al ser cuerpo cerámico este absorberá mayor cantidad de agua en comparación a la pieza terminada, es por eso que el límite de la diferencia de porcentaje propuesto en este trabajo, es no mayor a 3.0% y no menor a 0.6%, considerando un más menos 0.2%

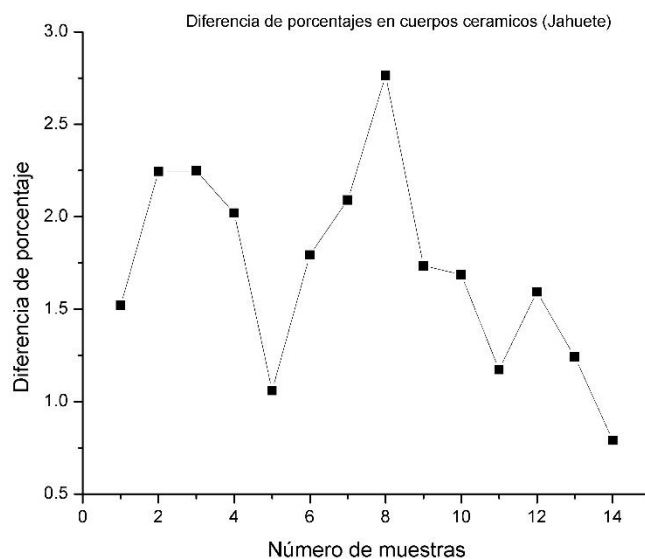


Gráfico 1. Diferencia de porcentajes en cuerpos cerámicos (jahuete).

3.2.2 Análisis de absorción de agua en pieza terminada de Talavera Poblana.

El procedimiento se basa en la NOM 132-SCFI-1998 (sección 8.12) donde establece que las piezas deben de tener una capacidad no mayor a 500 mL y no menor a 250 mL, por lo que se deduce que deben de ser piezas como vasos, tazas y tarros, la norma antes mencionada establece que a las piezas se les debe agregar agua hasta antes del borde superior evitando derrames. En el proceso analítico se utilizaron probetas para tener una mejor medición del agua utilizada, ya que algunas de las piezas otorgadas por los talleres no cumplían con el volumen requerido, descrito en la NOM.

Al igual que en el análisis anterior de cuerpo cerámico, las piezas se limpiaron con un paño seco y se pesaron en una balanza analítica, después de obtener el peso en seco de las piezas si les agrega agua destilada hasta el borde superior de la pieza. Después de agregar el agua a la pieza se pone en reposo durante 1 hora, pasado ese tiempo se seca y se pesa la pieza en la balanza, una vez obtenido el peso después de la primera hora, se repitió el proceso de añadir agua y dejar en reposo durante 24 horas, pasado ese tiempo se seca la pieza y se pesa en la balanza analítica. (Los resultados obtenidos de este análisis se encuentran en el *anexo 4*)

Se realizó el cálculo de la diferencia de porcentajes con el procedimiento descrito en la NOM-132-SCFI-1998 (sección 8.12). A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 5. Datos finales con los diferenciales de peso y diferencia de porcentaje obtenidos de la prueba de absorción en pieza terminada.

Taller	Número de muestra	DP ₁	%Inicial de absorción	DP ₂	%final de absorción	Diferencia de porcentajes.
Taller 1	1	17.599	4.908107	38.316	10.68578	5.777672
	2	0.196	0.059793	0.079	0.0241	-0.03569
	3	15.568	8.791407	16.672	9.414847	0.62344
Taller 2	4	2.087	0.815505	5.876	2.296075	1.48057
	5	3.756	1.548547	34.634	14.27912	12.73057
	6	13.324	4.938986	37.325	13.83576	8.896772
Taller 3	7	15.794	6.54565	20.08	8.321936	1.776286
	8	3.352	2.904226	10.249	8.879897	5.975671
	9	10.719	6.34129	13.945	8.249771	1.90848
Taller 4	10	19.588	6.472933	22.545	7.450085	0.977152
	11	17.904	7.447525	21.125	8.787364	1.339839
Taller 5	12	326.64	95.86814	27.293	8.010437	-87.8577
	13	16.755	7.70951	17.022	7.832365	0.122855

El Gráfico 2 muestra el porcentaje inicial de absorción de cada una de las muestras y se comparó contra el máximo de absorción permitido por la NOM en esta etapa.

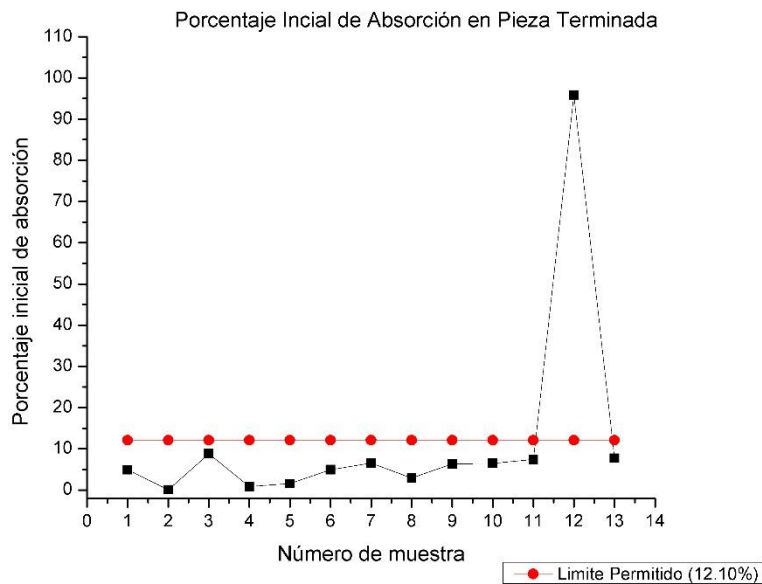


Gráfico 2. Porcentaje inicial de absorción con un tiempo de reposo de 1 hora, con un límite inferior de 12.10% establecido por la NOM-132-SCFI-1992

Además, se puede apreciar que en su mayoría las muestras están dentro del límite porcentual (12.10%) establecido por la norma para un tiempo de reposo de 1 hora, se puede observar que la pieza 12 está fuera del límite, por lo que, si se estuviera comprobando su calidad, debería ser descartada.

Realizando el análisis de la diferencia de porcentajes obtenidos, podemos observar que la calidad de piezas no entra como piezas de calidad debido a que la diferencia de porcentajes en su mayoría supera el 0.5% de absorción de agua. (Gráfico 3) la pieza 12 se descarta por ser una pieza altamente defectuosa y las restantes se comparan en el Gráfico siguiente.

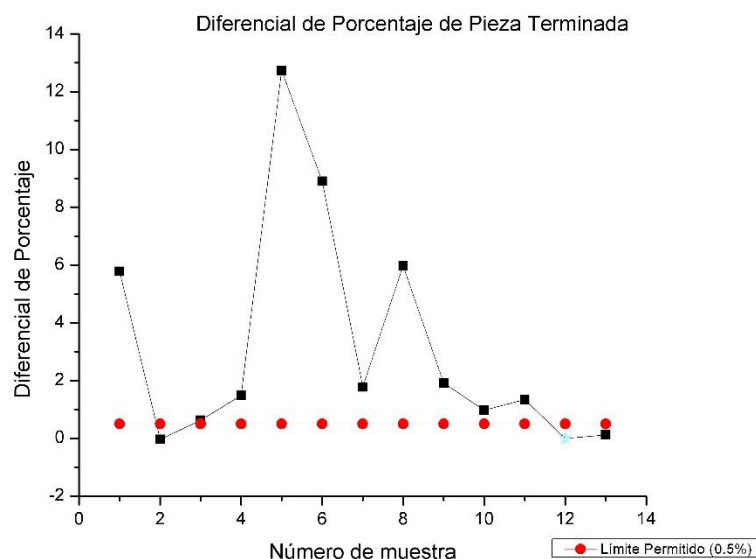


Gráfico 3. Diferencial de porcentaje en pieza terminada, con límite permitido de 0.5% y muestra 12 discriminada.

Después del análisis realizado y con los resultados obtenidos nuestra propuesta es que se propone verificar y modificar los límites establecidos en la NOM-132-SCFI-1998 para que las piezas entren en un estándar de calidad, y verificar el proceso de producción del esmalte y el esmaltado de la pieza, ya que puede existir un escurrimiento del esmalte y no permite la impermeabilización en su totalidad de la pieza, ya que durante la primera prueba de absorción de 1 hora todas las piezas con excepción de la 12 entrarían como piezas de calidad, pero pasadas las 24 horas la diferencia de porcentaje permitido de 0.5% es superado por la mayoría de piezas con excepción de la pieza 2 y la pieza 13, esto se atribuye a las zonas donde el esmalte no se adhiere por completo al cuerpo cerámico y su no verificación es causa de una pieza no apta para considerarse de calidad.

3.3 Análisis de cobalto en el color azul.

3.3.1 Análisis de cobalto en el color azul antes del tratamiento térmico Talavera Poblana.

Este método de análisis está descrito por la NOM-132-SCFI-1998 en el numeral 8.17, donde establece que la prueba se hace a color azul cobalto antes del tratamiento térmico, para lo cual se tomó una alícuota del color en estado líquido y se metió a la mufla (MOD HM – 1100) a 100°C por 12 horas, una vez seco y frío se pesó un gramo de muestra, el cual fue introducido a un vaso de precipitado de polipropileno, para posteriormente agregarle 3 mL de ácido fluorhídrico y 1 mL de ácido nítrico, esta mezcla fue puesta a baño maría por 8 minutos aproximadamente, hasta notar un polvo rosa pegado en las paredes del vaso de precipitado, lo cual indica que se está formando un compuesto de cobalto ($\text{CoF}_2\text{H}_8\text{O}_4$). Posteriormente el polvo fue diluido con agua destilada y filtrado al vacío utilizando papel filtro Whatmann 1 (Diámetro de 5.5 cm y de microfibras), las aguas madres de cada muestra se aforaron a 100 mL, de los cuáles se tomó una alícuota de 10 mL a la que se le agregaron 50 mL más de agua destilada, para comenzar la valoración del cobalto se estandarizó el pH a 6.00 con hidróxido de amonio 1M, posteriormente, se agrega el indicador murexida y se continuó añadiendo hidróxido de amonio hasta observar un vire de color amarillo, ya obtenido el vire se procedió a valorar la solución con EDTA 0.05M hasta que se observó un vire de color rosa, los mililitros gastados de EDTA dan el contenido de cobalto. Los datos obtenidos de este análisis se encuentran en el *anexo 5*.

De acuerdo con la NOM 132-SCFI-1998, donde se indica que 1 mL de solución de EDTA a 0.05M es igual a 2.946 mg de cobalto, por lo tanto:

$$\% \text{ de cobalto} = (\text{ml de EDTA})(2.946)$$

Sustituyendo los datos en la ecuación para calcular el porcentaje de cobalto obtenemos la Tabla 8 con los siguientes resultados:

Tabla 6. Porcentaje de cobalto obtenido con EDTA.

Taller	EDTA (mL)	% de cobalto
Taller 1	0.25	0.7365
	0.5	1.473
	0.5	1.473
Taller 2	0.45	1.3257
	0.75	2.2095
	0.55	1.6203
Taller 3	0.5	1.473
	0.5	1.473
	0.5	1.473
Taller 4	0.8	2.3568
	0.85	2.5041
	0.3	0.8838
Taller 5	0.7	2.0622
	0.25	0.7365
	0.5	1.473

Las valoraciones obtenidas con EDTA para obtener el porcentaje de cobalto antes del horneado se realizaron por triplicado. De acuerdo con la NOM, los límites establecidos para el contenido de cobalto se encuentran entre 3.24-2.06%, sin embargo, como se observa en el grafico 4 el porcentaje, de las muestras estudiadas, ronda entre 0.7365 y 2.05041%. Por lo que ningún taller entra en el rango establecido por la norma, esto se atribuye al bajo contenido de cobalto durante la preparación del color azul cobalto, ya que solo tres de 15 muestras cumplen con la norma.

El bajo contenido de óxido de cobalto agregado al color se puede atribuir al alto costo del material ya que su capacidad de coloración es alta y los talaveranos han implementado una menor cantidad sin afectar la apariencia de la Talavera, pero en las pruebas establecidas en la NOM-132-SCFI-1998 lo afecta significativamente por que los resultados entrarían como no conformidad, observado esto este trabajo propone realizar un ajuste en los valores permisibles del contenido de porcentaje de cobalto, esto derivado a que en todos los talleres se refleja esta variación y al ser talleres que siguen los estándares se recomienda un ajuste en la norma para que no solo estos talleres lo cumplan sino también otros talleres que sigan el procedimiento de elaboración de la Talavera y tengan oportunidad de certificarse como productores de Talavera Poblana.

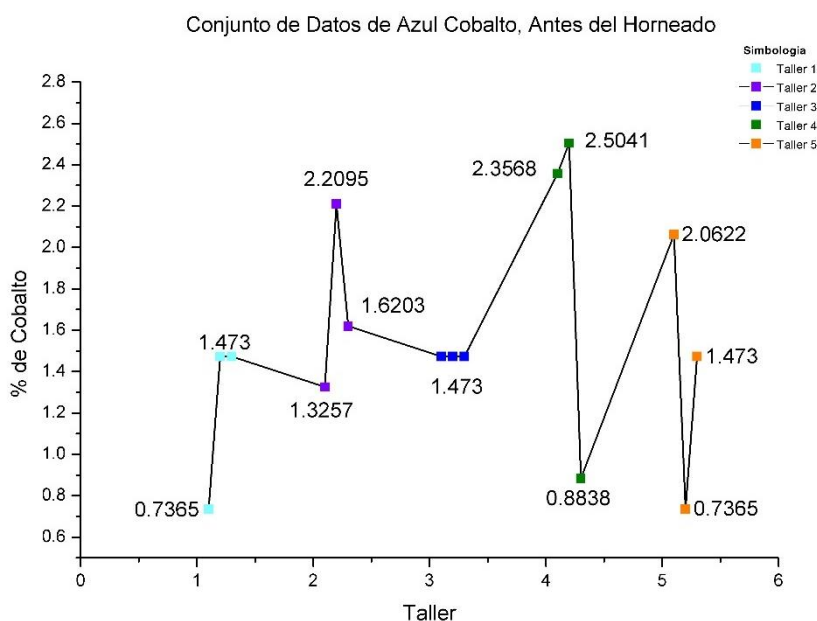


Gráfico 4. Conjunto de datos obtenidos a partir del análisis de las muestras de cobalto realizado por triplicado.

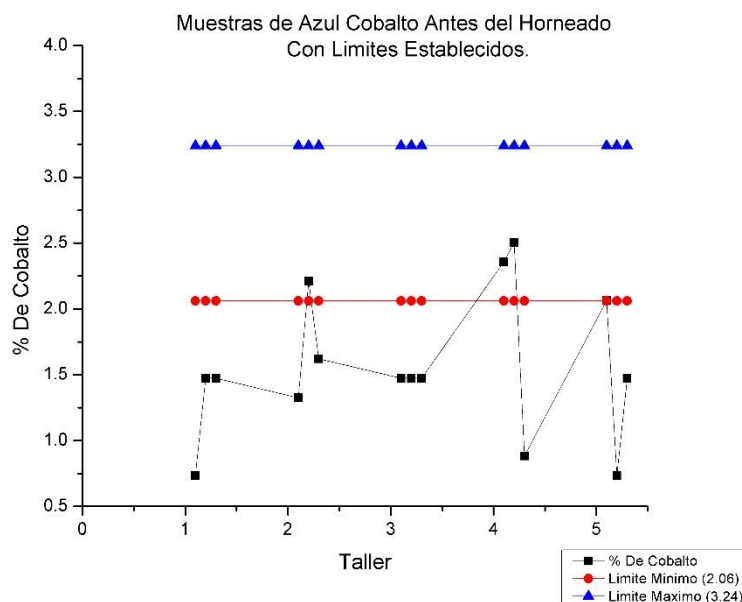


Gráfico 5. Muestras de color azul cobalto con límites establecidos por la NOM-132-SCFI-1998.

3.3.2 Análisis de cobalto en el color azul después del tratamiento térmico en Talavera Poblana.

Este análisis no está reportado en la NOM 132-SCFI-1998, sin embargo, se realizó con el objetivo de verificar si el porcentaje de cobalto aumenta o disminuye con el tratamiento térmico.

En esta prueba se horneó azul cobalto líquido proveniente de cada uno de los 7 talleres analizados, en una mufla de laboratorio (MOD- HM-1100) a 1050°C por un periodo de 8 horas, con una rampa de 100°C por cada 30 minutos, una vez transcurrido el tiempo se dejó enfriar a temperatura ambiente sin abrir la mufla, posteriormente, se desmoldó, molturó y tamizó (Malla N° 200, con 0.027mm y 0.0029 pulgadas). Posteriormente se toma 1g de muestra y se coloca en un vaso de precipitado de polipropileno, y se le añadieron 3 mL de HF y 1 mL de HNO₃, la mezcla fue puesta a baño maría por aproximadamente 7 minutos o hasta evaporar la mezcla de ácidos, la costra antes obtenida fue diluida con agua destilada y filtrada al vacío, el filtrado fue lavado con agua destilada, las aguas madres

recuperadas fueron aforadas con agua destilada a 100 mL, de cada solución se tomaron 3 alícuotas de 10 mL a las se les añadieron 50 mL más de agua destilada a cada una, posteriormente se hizo una valoración volumétrica con solución de hidróxido de amonio 1M para estandarizar la solución a un pH 6.00, una vez obtenido el pH, se agregó el indicador murexida, el cual presenta una ligera coloración anaranjada/rosa se continuo agregando hidróxido de amonio 1M en exceso hasta obtener un vire de color amarillo, una vez obtenido el vire se comenzó con la valoración volumétrica con EDTA 0.05M hasta que la solución cambio de color a una tonalidad rosa, el gasto volumétrico de EDTA nos da el contenido de cobalto presente en la muestra.



Figura 69. Alícuota para el análisis de contenido de cobalto en pintura azul cobalto.



Figura 68. Vire de color amarillo con exceso de hidróxido de amonio 1M.

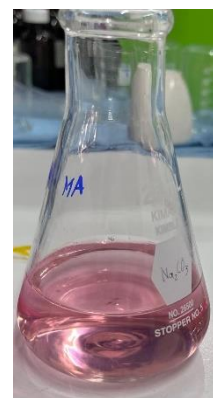


Figura 70. Vire de color rosa después de valoración con EDTA 0.05M.

Con los datos obtenidos, se hizo una sustitución en las fórmulas propuestas por la NOM antes mencionada, donde expresa que 1 mL de solución de EDTA a 0.05M es igual a 2.946 mg de cobalto, por lo tanto:

$$\% \text{ de cobalto} = (\text{mL de EDTA})(2.946)$$

La Tabla 7 muestra los resultados obtenidos, y se puede observar que el porcentaje de cobalto disminuye con el tratamiento térmico en comparación al porcentaje de cobalto obtenido antes del horneado.

Tabla 7. Porcentaje de cobalto obtenido con EDTA.

Taller	EDTA	% de cobalto	Promedio
1	0.55	1.6203	1.5221
	0.30	0.8838	
	0.70	2.0622	
2	0.25	0.7365	0.8347
	0.4	1.1784	
	0.2	0.5892	
3	0.25	0.7365	0.7856
	0.3	0.8838	
	0.25	0.7365	
4	0.25	0.7365	0.7365
	0.25	0.7365	
	0.25	0.7365	
5	0.25	0.7365	0.7365
	0.25	0.7365	
	0.25	0.7365	
6	0.35	1.0311	0.9329
	0.3	0.8838	
	0.3	0.8838	
7	0.35	1.0311	1.0311
	0.35	1.0311	
	0.35	1.0311	

En el Gráfico 7, podemos observar la variación del porcentaje de cobalto después del tratamiento térmico, donde el taller 1, 2 y 6 presentan variación entre sí mismos, mientras el taller 3, 4, 5 y 7 las tres muestras analizadas muestran resultados parecidos que tienden a un porcentaje de cobalto de 0.7365% a 1.0311%, siendo estos talleres los que presentan los resultados más confiables, la variación que se presenta en los talleres 1, 2 y 6 se puede atribuir a la pastosidad

del azul cobalto entregado por cada taller de acuerdo a su receta o formulación del color.

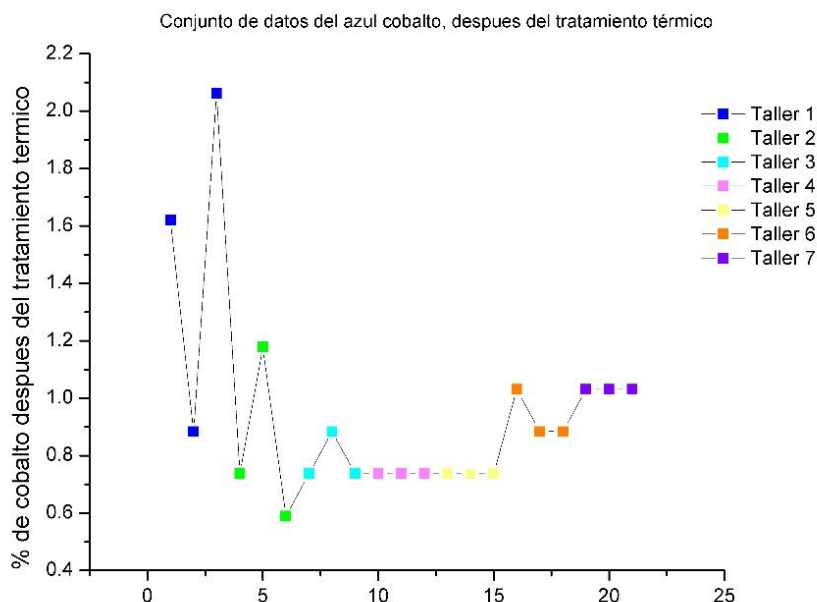


Gráfico 6. Conjunto de datos del porcentaje de color azul cobalto contenido después del tratamiento térmico.

Esta prueba sirve para confirmar la presencia y el bajo contenido de cobalto en el color azul, nuestra propuesta a implementar a la norma es que en la prueba antes del tratamiento se ajusten los límites permisibles establecidos en la NOM-132-SCFI-1998 ya que en lo observado del análisis antes y después del tratamiento térmico el contenido del porcentaje de cobalto tiende a disminuir aún más (0.7365-1.5221 %), esto nos confirma que los talaveranos se han visto en la necesidad de ajustar su contenido debido a los costos o a la escases de este mineral, el ajuste en los parámetros permisibles en la norma ayudará a los artesanos a continuar con la elaboración de esta artesanía y que más talleres se puedan sumar a la actividad.

3.4 Análisis de Tomografía Computarizada.

3.4.1 Análisis de Tomografía Computarizada en pieza terminada de Talavera Poblana (porosidad, inclusión y espesor de esmalte).

Se realizó el análisis no destructivo de tomografía computarizada de rayos X con el objetivo de cuantificar la porosidad e inclusión del azul cobalto en la pieza terminada además de determinar su espesor, ya que en la NOM-132-SCFI-1998 se realiza la detección visual de la porosidad y la medición del espesor, a través de una medición vía microscopio estereoscópico. Para esta medición se requiere de la ruptura de la pieza terminada, lo que implica una variación en su medición ya que dependerá de la inclinación de la percepción del analista y el ángulo de corte con el que se realice.

Para este análisis físico se requirió realizar por triplicado las mediciones de cada pieza ya que al ser piezas variantes en su superficie esto nos podrá dar más fiabilidad en todo el análisis.

Para las pruebas antes mencionadas las piezas de Talavera (lozas de color azul cobalto) fueron introducidas a un *Tomógrafo Computarizado Nikon de fuente dual (450kV/225kV) Tipo Manchester 1*.

Se realizó la reconstrucción y análisis con el software VG Studio Max 3.3.

En la Imagen 1 se puede apreciar la reconstrucción 2D y 3D de la pieza antes de empezar con la segmentación a analizar.

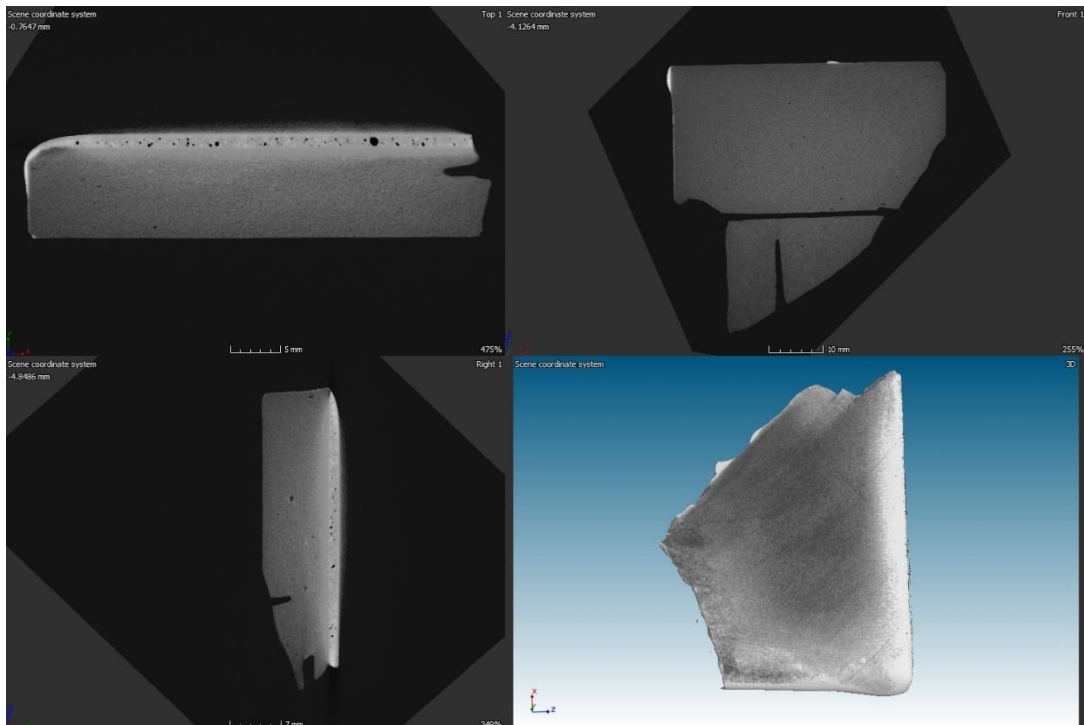


Imagen 1 Imágenes de reconstrucción 2D y 3D mediante tomografía computarizada a un trozo de loza azul cobalto (Taller 4).

Después de la reconstrucción de la pieza, se realiza una segmentación de 20X20 mm, una profundidad de 10 mm y un rango de búsqueda de 4 voxels a 300 voxels en cada muestra (Imagen 2), donde se obtiene la región de interés (ROI) que será analizada.

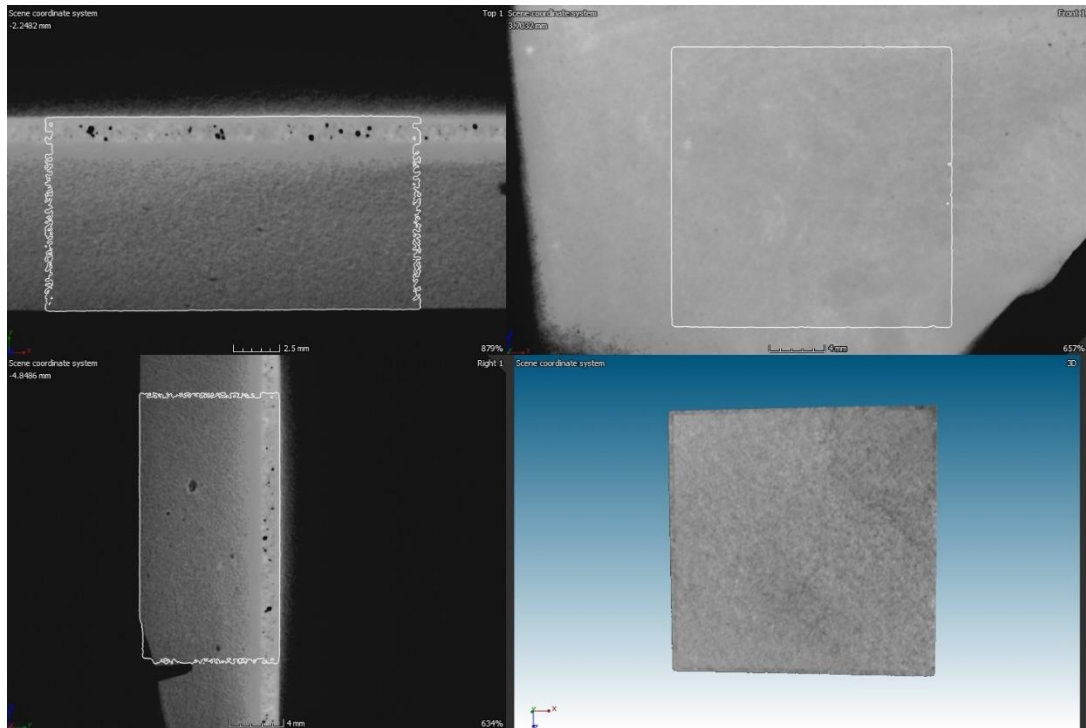


Imagen 2 Vista 2D y 3D de reconstrucción, donde se aprecia la segmentación de la región de interés a analizar. (Taller 4)

Análisis de Porosidad

Posterior a eso se realiza el análisis de porosidad e inclusión de cada uno de los ROI, considerando un rango de búsqueda de (4 Voxels a 300 Voxels)

Las porosidades se visualizan con un código de color que va de azul (defectos más pequeños) a rojo (defectos más grandes) de acuerdo con el tamaño de estos como se muestran en la Imagen 3.

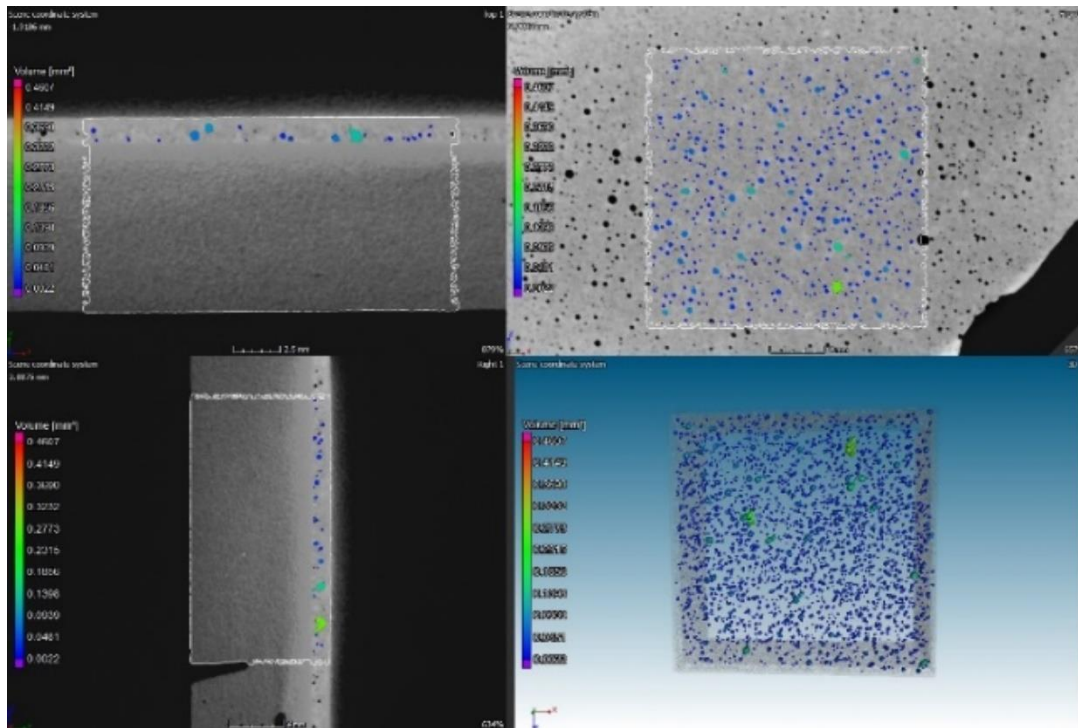


Imagen 3. Análisis de porosidad en región de interés (ROI) obtenida por TC (Taller 4)

Los datos obtenidos de esta prueba aparecen en la Tabla 8. Datos de porosidad en lozas de color azul cobalto.

Tabla 8. Datos de Porosidad en lozas de color azul cobalto.

Taller	Número de Poros	Volumen de Poros (mm ³)
Taller 1	2.539×10^8	51.63220
Taller 2	5.34×10^7	22.63330
Taller 3	3.41×10^7	10.15270
Taller 4	1.95×10^8	22.1783
Taller 5	5.47×10^7	5.84660
Taller 6	7.54×10^7	5.3607
Taller 7	9.86×10^7	13.2962

Con los datos de la Tabla 8 se procedió a graficar y se obtuvo la siguiente grafica.

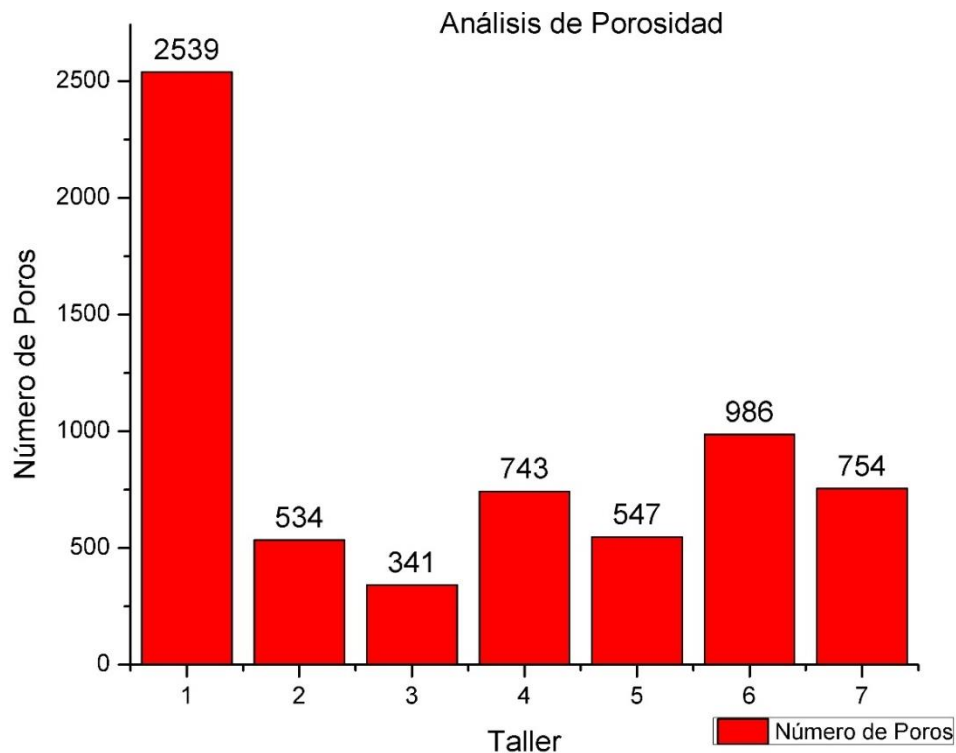


Gráfico 7. Cantidad de poros presente en cada pieza analizada (cada valor esta expresado $\times 10^5$).

En la Gráfico 7 se puede apreciar que el taller 1 es el que presenta mayor contenido de poros con un número de 253 900 000 mientras que el taller 3 presenta un número menor de poros de 34 100 000, esta variación de tamaños se puede encontrar tanto en la película de color o dentro del cuerpo cerámico. Esta variación es atribuida al efecto del proceso de vitrificado del color azul cobalto durante el horneado de la pieza de Talavera y a la naturaleza del cuerpo cerámico, ya que al ser preparado por óxido cobalto, Sal de grano, arena sílice (arenilla), este último migra a la superficie para dar paso al vidriado de la pieza formando poros en toda la superficie a su paso esto se corrobora más adelante en el análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM).

Las Imágenes 4 y 5 muestran el poro más pequeño y el más grande detectado en la muestra del taller 4, este análisis nos brinda información cuantificable de la porosidad en el azul cobalto y podemos corroborar que al menos en las piezas de los 6 talleres analizados el orden de magnitud de los poros detectados es el mismo ($\times 10^5$).

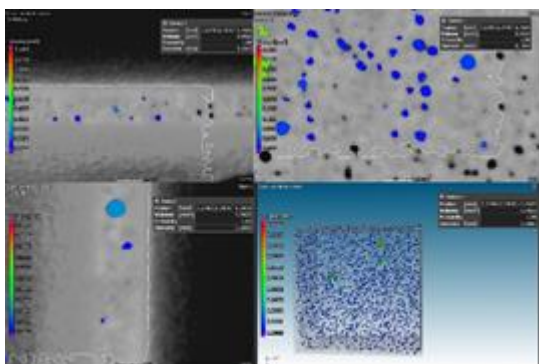


Imagen 4 Poro más pequeño encontrado mediante TC imágenes en 2D y 3D (taller 4)

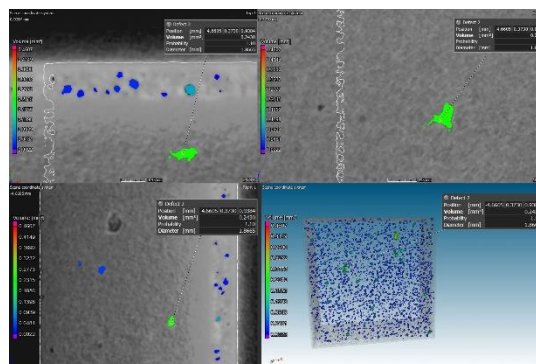


Imagen 5 Poro más grande encontrado mediante TC, imágenes en 2D y 3D (Taller 4).

Análisis de inclusión

El análisis de inclusión se visualiza con un código de color que va de azul (defectos más pequeños) a rojo (defectos más grandes) de acuerdo con el tamaño de estos como se muestran en la Imagen 6.

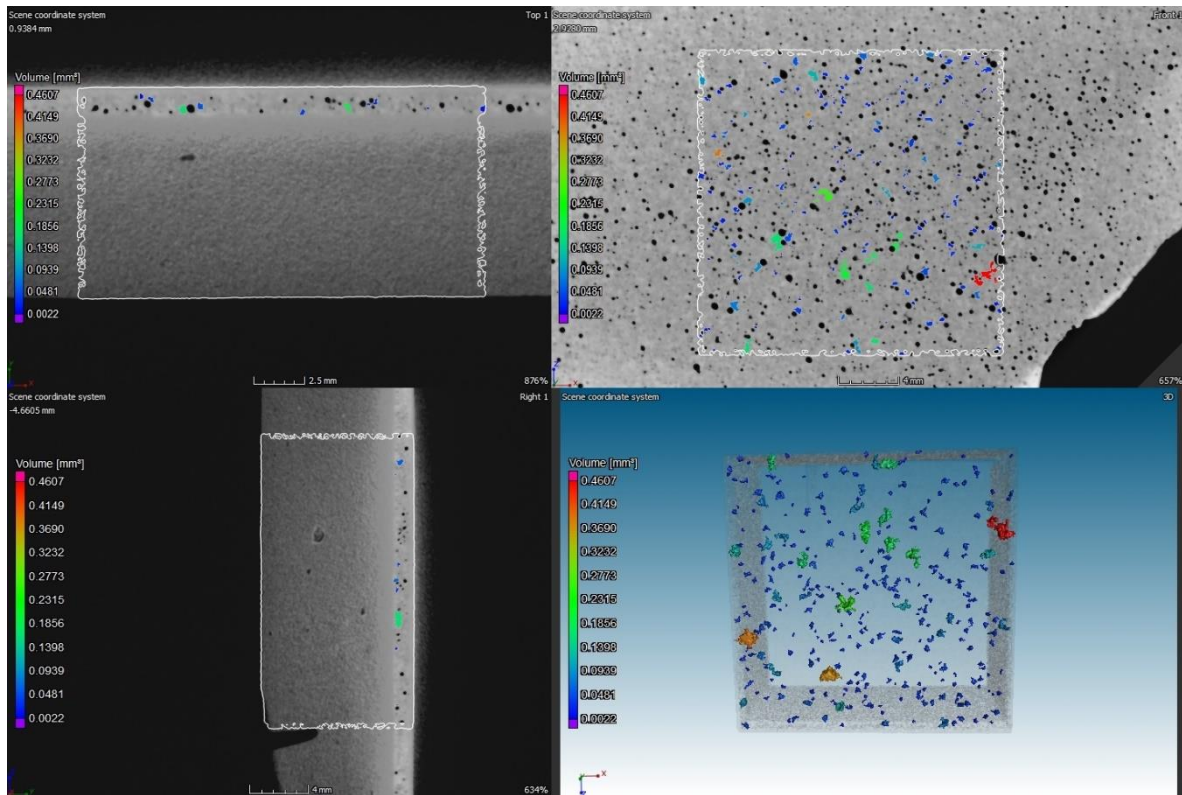


Imagen 6 Análisis de inclusión en la región de interés (ROI) obtenido por TC (Taller 4)

En la Tabla 5 y el Gráfico 8 se muestran los resultados obtenidos del análisis de inclusiones para cada taller, siendo el taller 4 el que presenta mayor cantidad de inclusiones con 293.00000 y el taller 1 el de menor cantidad con 32.00000, en este análisis podemos observar que comparados con la cantidad de poros detectados las inclusiones disminuyen significativamente, la presencia de inclusiones depende de la homogeneidad que tiene el esmalte al aplicarse ya que, cuando se elabora se molitura en molino de bolas o molinos artesanales y tiende a presentar partículas propias de los componentes. Es así que la gran variabilidad que se tiene en la presencia del número de inclusiones detectados se atribuye a la manera artesanal de realizar el esmalte y el azul cobalto.

Tabla 9. Datos de inclusión en lozas de color azul cobalto.

Taller	Número de inclusiones	Volumen del Material (mm ³)
Taller 1	3,200,000	3551.44630
Taller 2	12,100,000	3405.90410
Taller 3	22,100,000	3706.55150
Taller 4	29,300,000	4211.35300
Taller 5	4,800,000	3411.34740
Taller 6	20,800,000	4052.3748
Taller 7	24,800,000	41222.0654

Con los datos de la Tabla anterior se obtuvo la siguiente grafica.

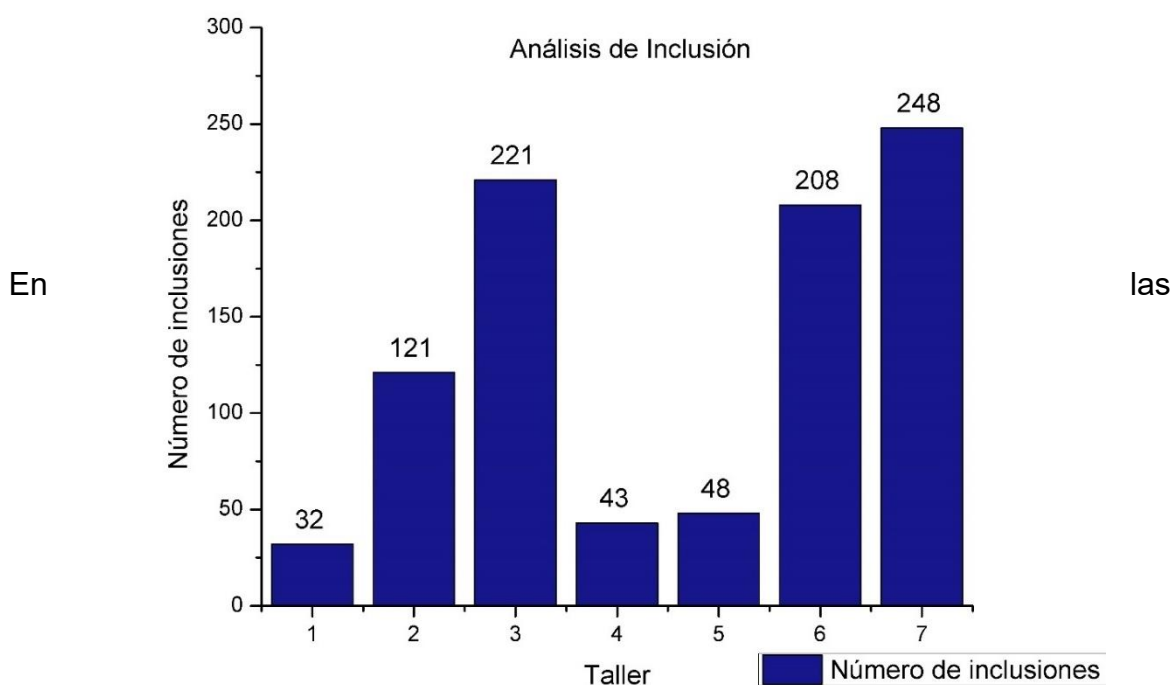


Gráfico 8. Cantidad de inclusiones presentes en cada pieza analizada mediante TC (cada valor esta expresado X10⁵).

imágenes 7 y 8 se muestra el análisis de inclusión de la pieza del taller 4, donde podemos apreciar la ubicación de las inclusiones y su tamaño, desde la inclusión más pequeña (0.0028mm^3) hasta la más grande (0.4607mm^3).

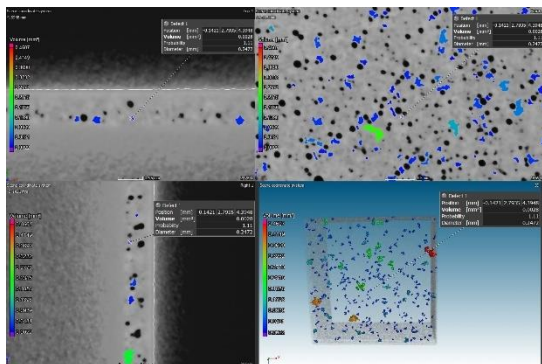


Imagen 8 Inclusión más pequeña, encontrada mediante TC, imágenes 2D y 3D (Taller 4).

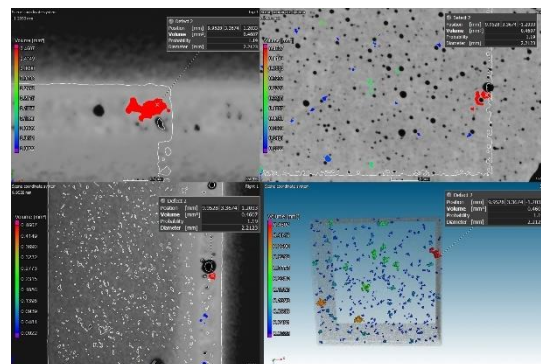


Imagen 7 inclusión más grande, encontrada mediante TC, imágenes en 2D y 3D (Taller 4).

El análisis de porosidad e inclusión que se realizó en este trabajo es una característica cuantificable del azul cobalto que no está incluida en la NOM-132-SCFI-1992 pero que demuestra que su cuantificación puede ser medible y que por lo menos en los talleres analizados el orden de magnitud de detección se encuentra en $\times 10^5$.

Con los resultados obtenidos en esta prueba propuesta, es importante resaltar que al ser una prueba cualitativa, cuantitativa y no destructiva podemos verificar la porosidad con mayor exactitud para poder cuantificarla y verificar su permeabilidad ya que si esta es significativa el desprendimiento de Pb u otros componentes metálicos con el paso del tiempo puede ser riesgoso para la salud de la persona que pueda intentar contener líquidos de consumo humano en piezas de Talavera (prueba descrita en la NOM-132-SCFI-1998 en la sección 8.5) el uso de la CT elimina el error humano durante el análisis para la verificación de porosidad y su profundidad hacia el cuerpo cerámico, evitando emitir conformidades o no conformidades de las piezas de Talavera solo con criterio del analista.

Análisis de espesor de esmalte

En la prueba de medición de espesor de color se toman 5 puntos diferentes en cada ROI para así poder observar la distribución de la aplicación de azul cobalto, tal como se observa en la Imagen 9.

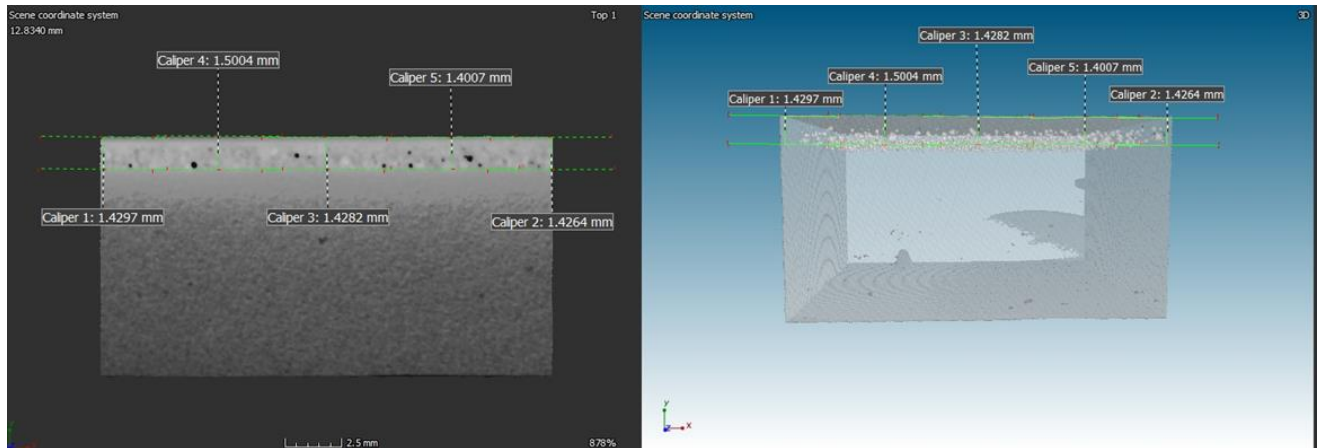


Imagen 9 Mediciones de espesor del color azul cobalto en cinco puntos distintos de la loza, imágenes en 2D y 3D. (Taller 4)

De cada una de las piezas se obtuvieron 5 mediciones diferentes, de los datos obtenidos mediante la tomografía computarizada se realizó un análisis de estos y se obtuvo un promedio de cada medición y a su vez se obtuvo la media de los 7 talleres, haciendo el análisis de datos podemos observar una uniformidad en el espesor de esmalte de cada taller en los cinco puntos de medición, como se puede observar en el Gráfico 7.

Tabla 10. Datos de espesor de esmalte en lozas de color azul cobalto.

Taller	Espesor Esmalte medición 1 (mm)	Espesor Esmalte medición 2 (mm)	Espesor Esmalte medición 3 (mm)	Espesor Esmalte medición 4 (mm)	Espesor Esmalte medición 5 (mm)	Promedio de las mediciones
1	0.63740	0.55500	0.55150	0.52560	0.52040	0.55798
2	1.42680	1.50780	1.30110	1.41910	1.44120	1.41920
3	1.30600	1.17370	1.25430	1.21210	1.14600	1.21842
4	1.80610	1.73640	1.80560	1.73540	1.73850	1.76440
5	0.50190	0.42460	0.39480	0.36860	0.37350	0.41268
6	0.93040	0.88010	0.92190	0.99180	0.98990	0.94282
7	1.09600	1.05950	0.85980	0.86590	0.96990	0.97022
Media de los 7 talleres						1.04082

Ya con el análisis de estos datos se procede a graficar para observar una mejor distribución de los promedios de los espesores de esmalte.

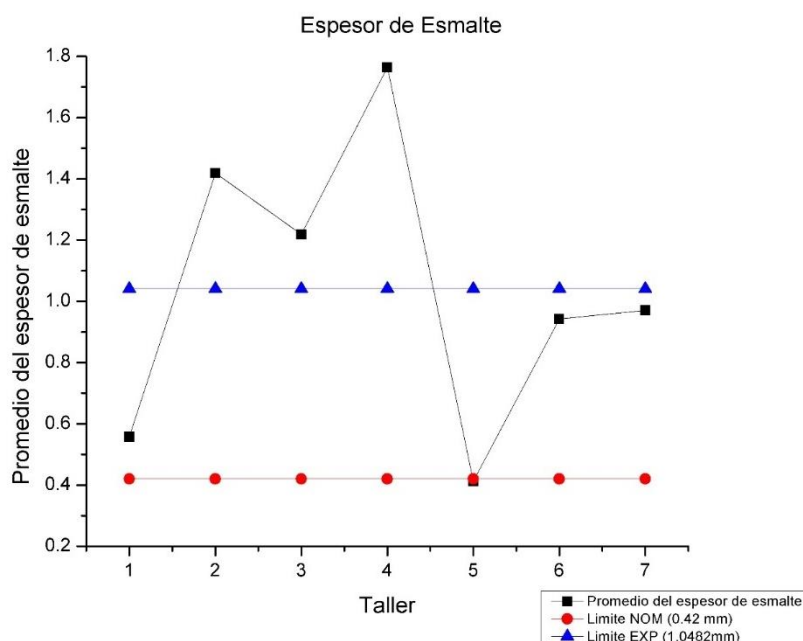


Gráfico 9. Promedios de espesor de esmalte, con límites experimentales y establecido por la NOM-132-SCFI-1998

En el Gráfico 9 se puede observar la distribución del espesor de esmalte de cada taller, al igual que dos rangos más, el de color rojo está determinado por la NOM-132-SCFI-1998 donde estipula que el espesor de esmalte y color no debe de ser mayor a 0.42 mm, nuestra propuesta con la implementación de la técnica de CT se obtuvo un promedio de espesor de esmalte de 1.04 mm, que se podría implementar en la actualización de la NOM-132-SCFI-1998, atribuimos que el espesor de esmalte determinado por la NOM, puede diferir o tener un error por el proceso de análisis y desgaste que sugieren hacerle a la pieza antes de la medición, mientras que con el análisis de tomografía la pieza no sufre ningún daño y la medición es más exacta y real. Cabe señalar que el espesor de esmalte es afectado por diferentes factores, entre ellos la adherencia del mismo esmalte al cuerpo cerámico durante su aplicación, a la fluidez o escurrimiento que se tenga durante el secado de las piezas y al tamaño y geometría de la pieza a esmaltar.

3.5 Análisis de corrosión.

3.5.1 Análisis de Corrosión en pieza terminada de Talavera Poblana.

Este análisis se realizó mediante lo estipulado por la NOM-132-SCFI-1998 donde especifica que las piezas no deben de ser planas y con un fondo, por lo que los platos fueron colocados sobre bases de unicel para dejarlos ligeramente inclinados y trabajar sobre un área específica, una vez que los platos tenían la inclinación adecuada, se les agrego 3 mL de HF al 30% con un tiempo de reposo de 35 minutos, verificando que el ácido no haya sido absorbido en su totalidad por la pieza, después del tiempo de reacción/reposo se enjuagó la pieza con agua destilada y se tallo un poco para eliminar cualquier residuo de esmalte o color que haya sido desprendido de la pieza, se secó bien la pieza y esta se analizó con un microscopio digital (4.3 INCH LCD DIGITAL MICROSCOPE, CON AMPLIACION 1-100X) en el que se debe de apreciar el esmalte corroído y los colores, pero estos no se deben de desprender en su totalidad ni tampoco se debe de observar el cuerpo cerámico.

Por lo que los resultados obtenidos de dicho análisis fueron resumidos en la Tabla 11.

Tabla 11. Datos obtenidos después de la prueba de corrosión.

Taller	Pieza	Aparición del cuerpo cerámico	Decoloración total del azul cobalto
Taller 1	Plato Soperero	NO	NO
	Plato Semi Hondo	NO	NO
Taller 2	Plato Trinche	NO	NO
	Plato Trinche	NO	SI
Taller 3	Plato Trinche	NO	NO
	Plato Trinche	NO	NO
Taller 4	Plato Trinche	NO	NO
	Plato Postre	NO	NO
Taller 5	Plato Soperero	NO	NO
	Plato Trinche	NO	NO
Taller 6	Plato Trinche	NO	SI
	Plato Trinche	NO	SI
Taller 7	Plato Trinche	NO	SI
	Plato Trinche	NO	SI

Al hacer un análisis de los datos podemos observar que todas las piezas cumplen con la regla de que el cuerpo cerámico no debe apreciarse después de la reacción que se lleva a cabo, pero en la inspección del color azul cobalto podemos observar que de 14 piezas analizadas 5 piezas no cumplen con esa condicionante ya que el color no es apreciable en la pieza después de la reacción, teniendo al taller 2 con una pieza en falso/positivo, ya que en la inspección a simple vista pasa la prueba pero al verificarla bajo el microscopio se aprecia pérdida de material (azul cobalto) este comportamiento se lo atribuimos al método de aplicación por

plumeado del azul cobalto. Mientras tanto el taller 6 y 7 no pasa la prueba de corrosión debido a que todas las piezas analizadas presentan perdida considerable de azul cobalto, a simple vista y bajo el microscopio, este comportamiento se lo atribuimos al espesor de esmalte base aplicado o a la falta de este en el proceso de decorado de la pieza, así como también a la adherencia y fluidez del esmalte al cuerpo cerámico.



Figura 71 Plato de azul cobalto del taller 3 después del análisis con HF al 30%, corrosión no apreciable a simple vista.



Figura 72. Área del plato del taller 3 (Figura 71) vista bajo el microscopio, apreciable corrosión al esmalte base, pero no al azul cobalto.



Figura 73. Plato del taller 6 después de la prueba de corrosión con HF al 30% a simple vista se observa desgaste del esmalte base y del azul cobalto (aunque no en su totalidad).



Figura 74. Área del plato del taller 6 (Figura 73) vista bajo el microscopio, se aprecia en su totalidad la eliminación del esmalte base y el azul cobalto, pero no es apreciable el cuerpo cerámico.

3.6 Análisis de Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS)

3.6.1 Análisis de EDS en pieza terminada de Talavera Poblana.

En este análisis se realiza una caracterización elemental a piezas terminadas de azul cobalto.

Para la prueba antes mencionada las piezas de Talavera (lozas de color azul cobalto) fueron introducidas a un *Microscopio electrónico de barrido, acoplado a EDS, Modelo JSM-6610LV, con una sonda Oxford a 20 keV, con un tiempo de análisis de 3 minutos por muestra, una distancia de trabajo de 10 mm, amplificación de 100x y un spotsize (apertura de electrones) de 60.*

En este estudio se realizaron análisis en dos zonas de la pieza:

5. Superficial: En este análisis solo se determinó una zona de interés.
6. Transversal: En este análisis se realizó para observar la interfaz del corte entre el cuerpo cerámico y el azul cobalto.
7. Polvos: En este análisis se realizó para determinar el contenido elemental de la pintura de color azul cobalto antes del tratamiento térmico.
8. Mapeo elemental: En este análisis se hace un barrido del área general de la pieza de manera superficial y se determina la ubicación de los elementos mediante colores.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Taller 1

Zona superficial

En los resultados obtenidos en el análisis superficial (Tabla 12) se encontró un contenido elemental principal de oxígeno, silicio, sodio, aluminio, y potasio el cual hace referencia a los elementos que constituyen el esmalte base y el azul cobalto, siendo el oxígeno y el silicio lo más abundantes debido al óxido de silicio (arena sílice) contenido en el esmalte base y azul cobalto el cual permite la vitrificación de la pieza cerámica. Cabe mencionar que los elementos sodio, aluminio, y calcio se debe a impurezas que puede contener la arena sílice y/o al agregado de sal o tequesquite en la elaboración del azul cobalto. La presencia de plomo se debe a la migración de este elemento contenido en el esmalte base durante la vitrificación.



Imagen 10. Espectroscópica del estudio de EDS, con las regiones de interés analizadas. Zona superficial

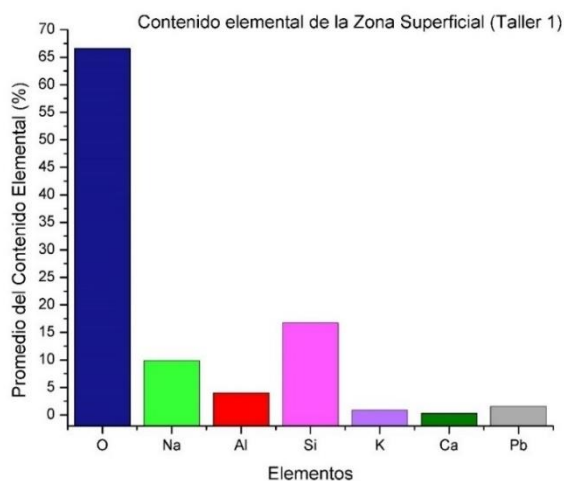


Gráfico 10. Contenido elemental en porcentaje en peso, obtenida de una muestra de loza decorada de azul cobalto (Zona Superficial).

Tabla 12. Contenido elemental de la zona superficial taller 1

Número de análisis	O	Si	Na	Al	Pb	K	Ca	Total
Análisis 1	67.84	15.34	10.85	3.49	1.26	0.86	0.35	100
Análisis 2	65.32	18.18	8.88	4.56	1.89	0.88	0.28	100
Promedio	66.58	16.76	9.87	4.02	1.58	0.87	0.32	100

Zona Transversal

En la Tabla 13 se presentan los resultados obtenidos del análisis EDS del corte transversal de la loza en color azul cobalto. En donde podemos observar un contenido elemental principal de oxígeno, silicio, aluminio, sodio, plomo, potasio y cobalto. Donde se corrobora el contenido elemental superficial mencionado en el apartado *Taller 1 Zona Superficial*, así como también podemos observar la presencia de cobalto en una abundancia de 0.19% atribuido al color azul cobalto de la pieza, también se observa la presencia de los elementos: calcio, hierro, magnesio, titanio, estaño y cloro, los cuales atribuimos su presencia a las arcillas que componen el cuerpo cerámico (jahuete) (calcio, magnesio, y titanio), mientras que la presencia de estaño se debe a la alarca (Pb_2SnO_4) del esmalte base y la presencia de hierro a las trazas contenidas en los lingotes de plomo y estaño que se utilizan para la formación de la alarca precursora del esmalte base.

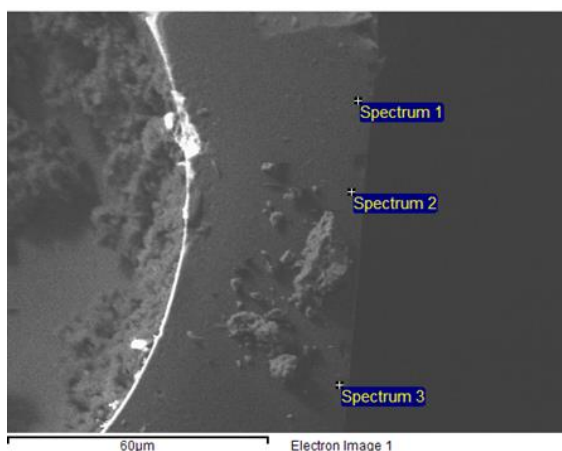


Imagen 11. Espectroscópica del estudio de EDS con las regiones de interés analizadas. Zona Transversal

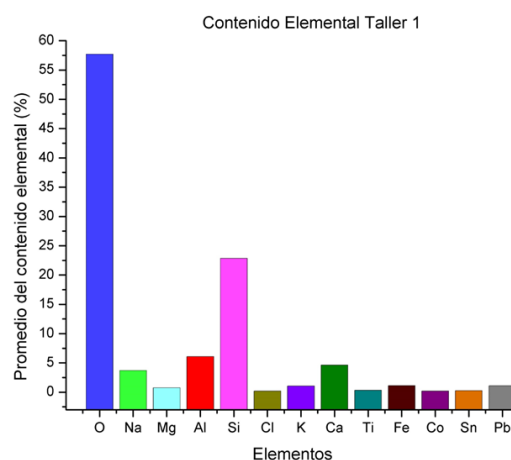


Gráfico 11. Contenido elemental en porcentaje peso, obtenida de una muestra de loza decorada con azul cobalto. (Zona de Análisis: Transversal)

Tabla 13. Contenido elemental de la zona transversal taller 1.

Número de análisis	O	Si	Al	Ca	Na	Fe	Pb	K	Mg	Ti	Sn	Cl	Co	Total
Análisis 1	62.48	21.15	5.45	1.7	5.3	0.61	1.24	0.91	0.62	0.12	0.22	0.11	0.1	100
Análisis 2	57.81	23.86	6.31	3.13	3	1.47	0.93	1.22	0.98	0.74	0.2	0.14	0.23	100
Análisis 3	52.87	23.53	6.46	9.05	2.81	1.25	1.13	1.09	0.64	0.13	0.42	0.38	0.25	100
Promedio	57.72	22.85	6.07	4.62	3.7	1.11	1.1	1.07	0.75	0.33	0.28	0.21	0.19	100

Análisis en Polvos (Pintura azul cobalto)

En los resultados obtenidos en el análisis de pintura en polvo (Tabla 14) se encontró una abundancia de oxígeno, silicio, sodio, aluminio, y potasio, los cuales hacen referencia a los elementos que constituyen la pintura azul cobalto, siendo el oxígeno y el silicio lo más abundantes debido al óxido de silicio (arena sílice) empleada en la pintura azul cobalto el cual permite la vitrificación de la pieza cerámica y le da el borde característico. Los elementos sodio, aluminio, y calcio se debe al agregado de sal o tequesquite en la elaboración del azul cobalto. La presencia de plomo se puede atribuir a una contaminación durante la molienda del azul cobalto en el molino de bola, al igual que la presencia de arsénico,

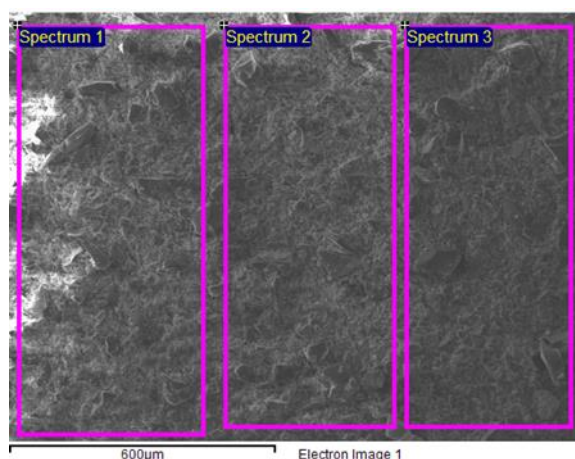


Imagen 12. Espectroscopia obtenida por el análisis de EDS con la zona de interés analizada. Polvos

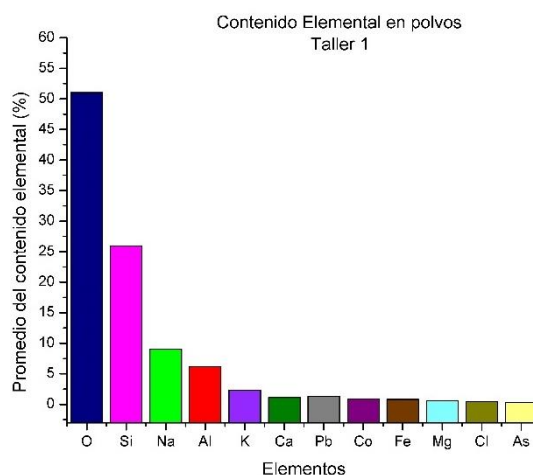


Gráfico 12. Contenido elemental en porcentaje peso, obtenida de una muestra pintura azul en polvo.

Tabla 14. Contenido elemental en polvos taller 1.

Elementos	O	Si	Na	Al	K	Pb	Ca	Co	Fe	Mg	Cl	As	Total
Análisis 1	51.21	25.97	9.13	6.19	2.32	1.16	1.05	0.91	0.75	0.73	0.43	0.15	100
Análisis 2	51.2	25.98	8.72	6.25	2.37	1.43	1.11	0.76	0.85	0.51	0.48	0.35	100
Análisis 3	50.74	25.95	9.19	6.25	2.23	1.36	1.16	0.84	0.82	0.6	0.46	0.4	100
Promedio	51.05	25.97	9.01	6.23	2.31	1.32	1.11	0.84	0.81	0.61	0.46	0.3	100

Taller 2

Zona Superficial

En la Tabla 15 se observa un contenido elemental principal de oxígeno, silicio, aluminio, potasio, plomo, calcio, cobalto y hierro. Donde se aprecia que los elementos primordiales del esmalte base (oxígeno, silicio, aluminio, sodio y potasio) se encuentran en mayor proporción del resto de los elementos encontrados en el área

En este análisis el cobalto es perceptible en la región superficial, dicho elemento proviene del color azul cobalto de la pieza, mientras que la presencia de plomo es atribuida al esmalte base de la pieza, el hierro a posibles impurezas en los lingotes de plomo o estaño con los que se fabrica el esmalte base, y el calcio a las arcillas con las que es fabricado el cuerpo cerámico de la pieza.

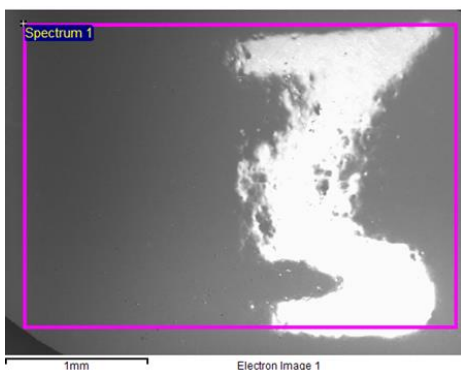


Imagen 13. Espectroscopia obtenida del análisis de EDS, con las regiones de interés analizadas. Zona superficial

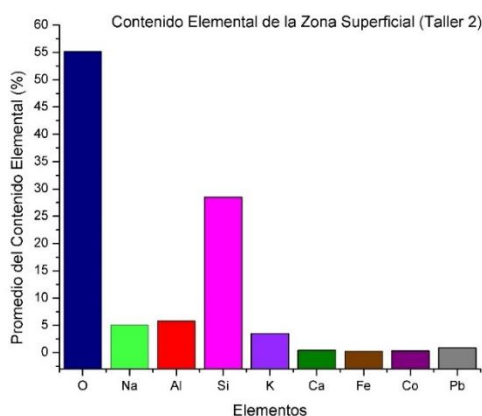


Gráfico 13. Contenido elemental en porcentaje en peso, obtenido de una muestra de loza decorada de azul cobalto (Zona Superficial).

Tabla 15. Contenido elemental de la zona superficial taller 2

Numero de análisis	O	Si	Al	Na	K	Pb	Ca	Co	Fe	Total
Análisis 1	55.19	28.47	5.81	5.07	3.49	0.88	0.45	0.34	0.28	100
Promedio	55.19	28.47	5.81	5.07	3.49	0.88	0.45	0.34	0.28	100

Zona Transversal

Los resultados obtenidos de este análisis para el taller 2 (Tabla 16) muestra que los elementos principales: oxígeno, silicio, sodio, aluminio y potasio se encuentran presentes en mayor proporción, estos elementos se encuentran en el esmalte base o en la pintura azul cobalto, mientras que el hierro y el calcio pueden ser impurezas contenidas en el cuerpo cerámico (jahuete) realizado con una mezcla de arcillas (negras y blancas), mientras que el cobalto, proviene del oxido de cobalto utilizado para la pintura azul cobalto y el plomo, es una elemento presente en la composición del esmalte base formado principalmente de una aleación estano-plumifera (estaño y plomo)

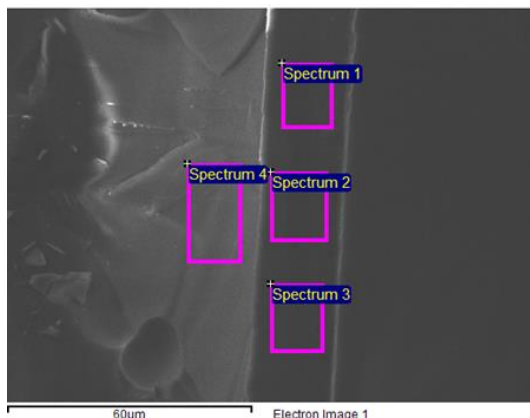


Imagen 14. Espectroscopia del estudio de EDS con las regiones de interés analizadas. Zona Lateral

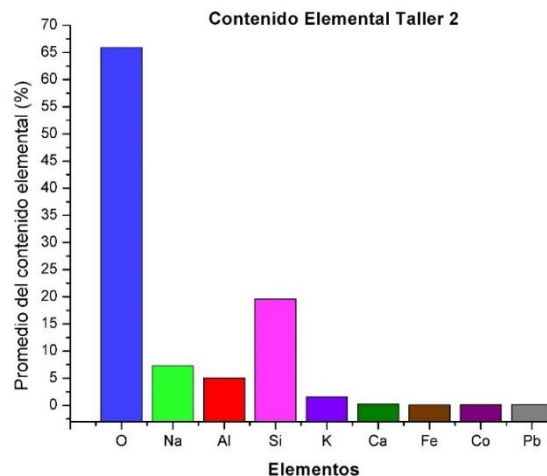


Gráfico 14. Contenido elemental, en porcentaje peso de una loza decorada de azul cobalto. (Zona de Análisis: Lateral)

Tabla 16. Contenido Elemental zona transversal taller 2.

Número de análisis	O	Si	Na	Al	K	Ca	Pb	Co	Fe	Total
Análisis 1	67.81	18.41	7.31	4.94	1.18	0.08	0.23	0.01	0.02	100
Análisis 2	66.66	19.29	7.08	4.76	1.44	0.34	0.28	0.11	0.05	100
Análisis 3	68.37	17.81	7.58	4.81	1.22	0.17	0.05	-0.02	0	100
Análisis 4	60.82	22.82	7.1	5.69	2.49	0.52	-0.05	0.36	0.24	100
Promedio	65.92	19.58	7.27	5.05	1.58	0.28	0.13	0.11	0.08	100

Pintura azul cobalto antes del horneado (Polvo)

Observando los resultados de la Tabla 17 los elementos con mayor presencia son: oxígeno, silicio, sodio, aluminio y potasio los cuales son componentes del material vitrificante y de principal composición del azul cobalto, los elementos Calcio, Cloro, Hierro, Azufre y Cobalto, provienen del contenido elemental del tequesquite (sal) y del oxido de cobalto utilizados en la mezcla para la preparación del mazacote de azul cobalto.

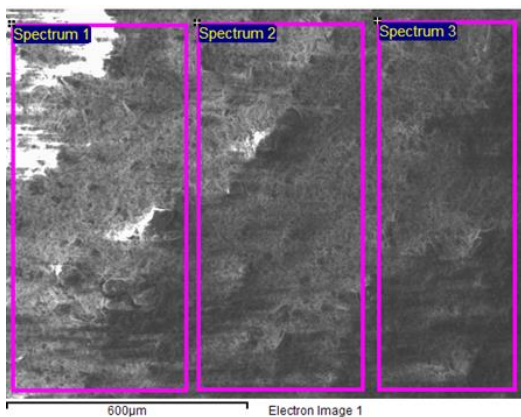


Imagen 15. Espectroscopia obtenida por el análisis de EDS, con las regiones de interés a analizar, en polvos.

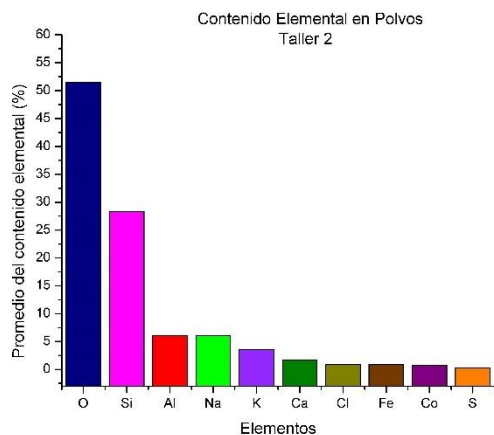


Gráfico 15. Contenido elemental en porcentaje peso, obtenida de una muestra de pintura azul en polvo.

Tabla 17. Contenido elemental polvos taller 2.

Elementos	O	Si	Al	Na	K	Ca	Cl	Fe	Co	S	Total
Análisis 1	51.3	28.31	6.07	6.11	3.52	1.72	0.94	1.05	0.67	0.31	100
Análisis 2	51.36	28.45	6.13	6.07	3.61	1.7	0.82	0.75	0.76	0.34	100
Análisis 3	51.67	28.26	6.09	5.98	3.46	1.8	0.92	0.82	0.8	0.21	100
Promedio	51.44	28.34	6.1	6.05	3.53	1.74	0.89	0.87	0.74	0.28	100

Taller 3

Zona Superficial

El contenido elemental obtenido de este análisis (Tabla 18) nos muestra que los elementos encontrados Oxígeno, Silicio, Sodio, Aluminio, Plomo y Potasio, constituyen en su mayoría al esmalte base.



Imagen 16 Espectroscopia obtenida por el análisis de EDS, con las regiones de interés a analizar. Zona Superficial.

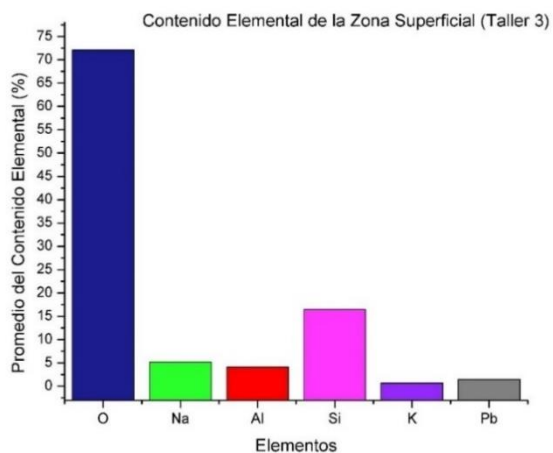


Gráfico 16. Contenido elemental en porcentaje peso, obtenido de una muestra de loza decorada con azul cobalto (Zona Superficial).

Tabla 18. Contenido Elemental de la zona superficial taller 3.

Numero de análisis	O	Si	Na	Al	Pb	K	Total
Análisis 1	72.09	16.44	5.18	4.13	1.48	0.67	100
Promedio	72.09	16.44	5.18	4.13	1.48	0.67	100

Zona Transversal

En la Tabla 19 tenemos el contenido elemental de este análisis y podemos observar una mayor presencia de elementos como son: Oxígeno, Silicio, Aluminio, Sodio, Potasio, elementos base del material vitrificante, mientras que la presencia de Calcio, se atribuye a trazas encontradas en las arcillas utilizadas para la elaboración del cuerpo cerámico (jahuete), El cobalto presente en el óxido de cobalto utilizado para la pintura azul, y el plomo su presencia se debe al esmalte base formado por una aleación de metales entre ellos el plomo.

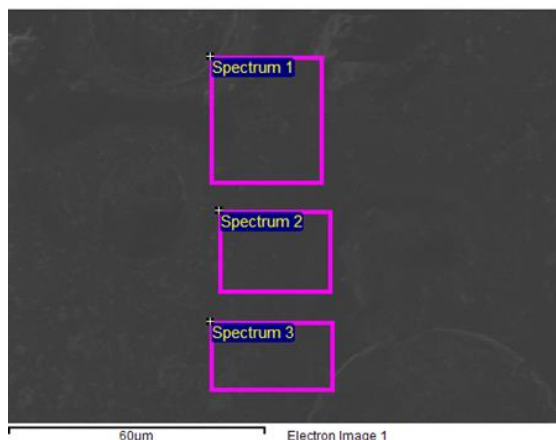


Imagen 17. Espectroscopia del estudio de EDS con las regiones de interés analizadas. Zona Lateral

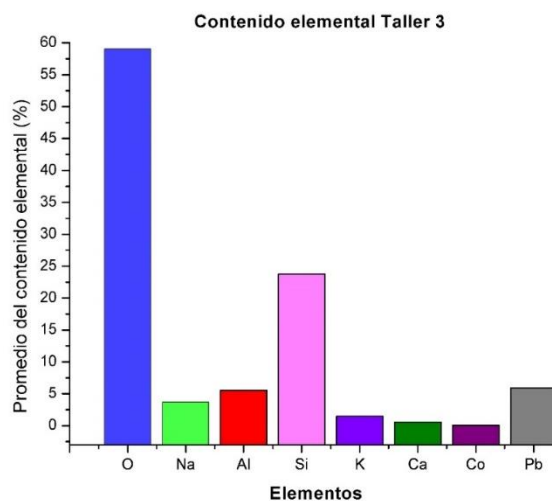


Gráfico 17. Contenido elemental, en porcentaje peso de una muestra de loza decorada con azul cobalto. (Zona de Análisis: Lateral)

Tabla 19. Contenido elemental de la zona Transversal taller 3.

Número de análisis	O	Si	Pb	Al	Na	K	Ca	Co	Total
Análisis 1	57.83	23.78	6.64	5.84	3.07	1.67	1.11	0.06	100
Análisis 2	57.99	25.1	5.23	5.77	3.89	1.42	0.44	0.16	100
Análisis 3	61.3	22.42	5.84	4.94	4.05	1.32	0.22	-0.08	100
Promedio	59.04	23.77	5.9	5.52	3.67	1.47	0.59	0.05	100

Análisis de pintura azul cobalto antes del horneado (Polvo)

Los resultados obtenidos de este análisis están en la Tabla 20 y los elementos más abundantes son: Oxígeno, Silicio, Aluminio, Sodio y Potasio, elementos bases del material vitrificante, mientras que los elementos Hierro y Calcio, provienen de impurezas del material (olla de barro) en el que se hornean los ingredientes para formar el mazacote de color azul, mientras que el Cobalto proviene del Oxido de cobalto, ingrediente primordial en la mezcla para la obtención de este color y el Cloro proviene de la sal utilizada también en la receta del color.

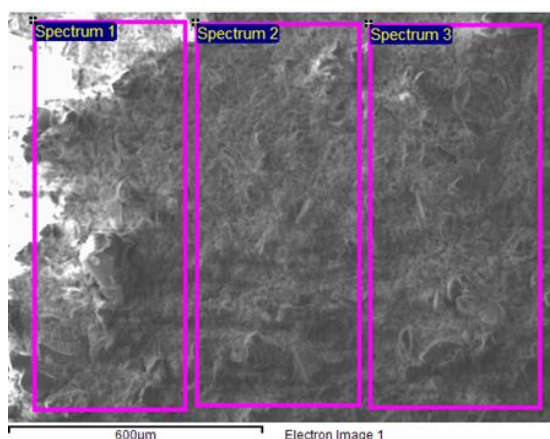


Imagen 18. Espectroscopia obtenida por el análisis de EDS, con las regiones de interés a analizar, en polvos.

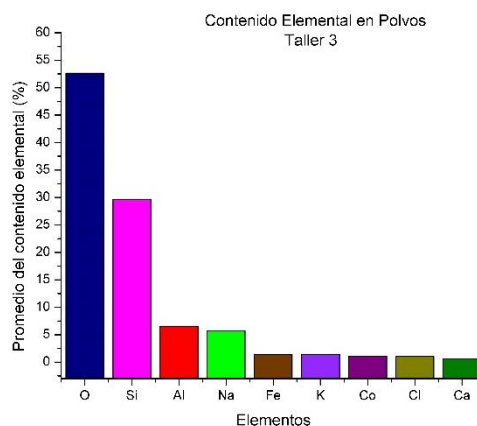


Gráfico 18. Contenido elemental, en porcentaje peso de una muestra de polvos de pintura de azul cobalto.

Tabla 20. Contenido elemental en polvos taller 3.

Elementos	O	Si	Al	Na	K	Fe	Co	Cl	Ca	Total
Análisis 1	52.78	29.74	6.55	5.64	1.39	1.34	1.08	0.82	0.66	100
Análisis 2	52.6	29.8	6.43	5.65	1.43	1.39	1.14	1.02	0.53	100
Análisis 3	52.56	29.29	6.69	5.8	1.31	1.39	1.21	1.21	0.54	100
Promedio	52.65	29.61	6.56	5.7	1.38	1.38	1.14	1.02	0.58	100

Taller 4

Zona Superficial

En los resultados obtenidos en el análisis superficial (Tabla 21) se encontró un contenido elemental principal de oxígeno, silicio, sodio, aluminio, y potasio el cual hace referencia a los elementos que constituyen el esmalte base.

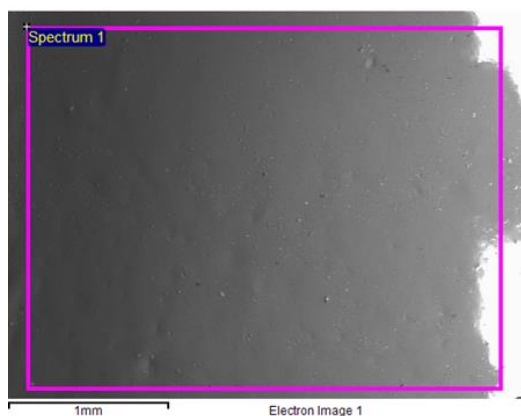


Imagen 19. Espectroscopia obtenida del análisis de EDS, con la región de interés analizada. Zona Superficial

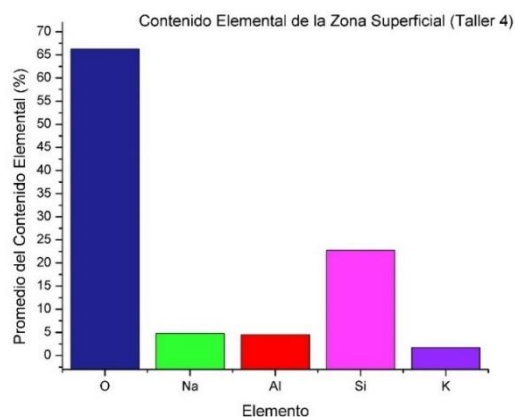


Gráfico 19. Contenido elemental, porcentaje en peso, obtenida por una muestra de loza decorada de azul cobalto. (Zona Superficial)

Tabla 21. Contenido elemental de la zona superficial taller 4.

Número de análisis	O	Si	Na	Al	K	Total
Análisis 1	66.28	22.75	4.79	4.47	1.71	100
Promedio	66.28	22.75	4.79	4.47	1.71	100

Zona Transversal

En la Tabla 22 se muestran los resultados obtenidos de este análisis y se encontró un contenido elemental principal de Oxígeno, Silicio, Sodio, Aluminio, y Potasio el cual hace referencia a los elementos que constituyen el esmalte base y el azul cobalto, siendo el oxígeno y el silicio lo más abundantes debido al óxido de silicio (arena sílice) contenido en el esmalte base y azul cobalto el cual permite la vitrificación de la pieza cerámica.

El elemento Cobalto se debe al óxido de cobalto utilizado para el color, y la presencia de Plomo se debe a la migración de este elemento contenido en el esmalte base durante la vitrificación.

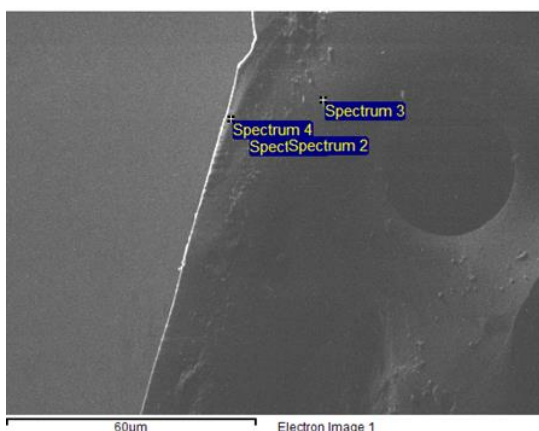


Imagen 20. Espectroscopia del estudio de EDS con las regiones de interés analizadas Zona Lateral

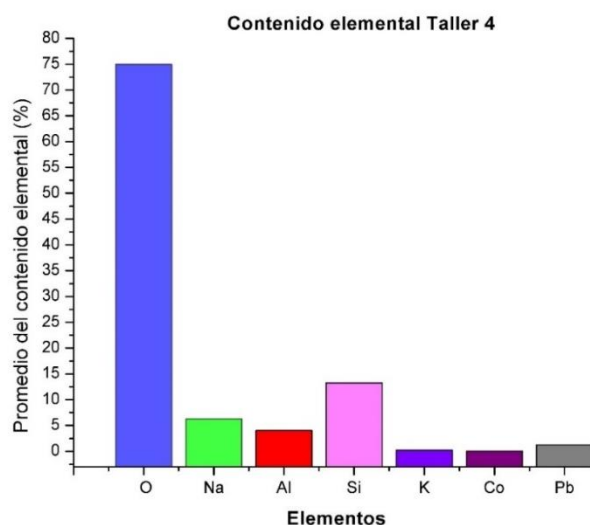


Gráfico 20. Contenido elemental, en porcentaje peso de una muestra de loza decorada con azul cobalto. (Zona de Análisis: Lateral)

Tabla 22. Contenido elemental de la zona transversal taller 4.

Numero de análisis	O	Si	Na	Al	Pb	K	Co	Total
Análisis 1	75.57	12.36	7.1	3.65	1.26	0.07	0	100
Análisis 2	73.28	14.02	5.84	4.71	1.74	0.39	0.01	100
Análisis 3	77.03	12.32	6.42	3.45	0.73	0.06	-0.01	100
Análisis 4	74.04	14.41	5.67	4.26	1.27	0.34	0.02	100
Promedio	74.98	13.28	6.26	4.02	1.25	0.21	0.01	100

Análisis de pintura azul cobalto antes del horneado (polvos)

En los resultados obtenidos en el análisis de polvos (Tabla 23) se encontró un contenido elemental principal de oxígeno, silicio, sodio, aluminio, y potasio el cual hace referencia a los elementos que constituyen el esmalte base y el azul cobalto, los cuales permiten la vitrificación de la pieza cerámica. Cabe mencionar que los elementos calcio, hierro y cloro se debe a impurezas que puede contener la arena sílice y/o al agregado de sal o tequesquite en la elaboración del azul cobalto. La presencia de plomo se debe a la migración de este elemento contenido en el esmalte base durante la vitrificación y el cobalto se debe al oxido de cobalto utilizado en los ingredientes de la pintura azul.

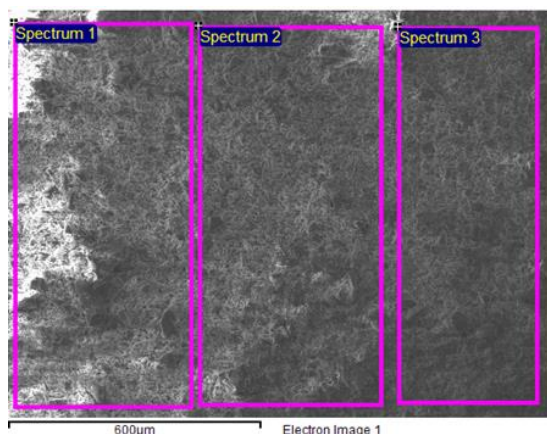


Imagen 21. Espectroscopia obtenida por el análisis de EDS, con las regiones de interés a analizar, en polvos.

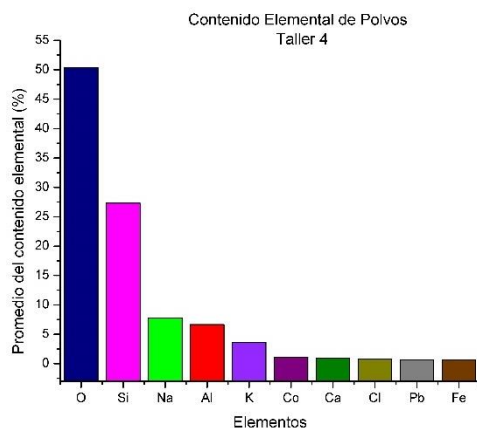


Gráfico 21. Contenido elemental, en porcentaje peso de una muestra de polvos de pintura de azul cobalto.

Tabla 23. Contenido elemental en polvos taller 4.

Elementos	O	Si	Na	Al	K	Co	Ca	Cl	Pb	Fe	Total
Análisis 1	50.3	27.07	7.83	6.51	3.65	1.21	1	0.93	0.85	0.66	100
Análisis 2	50.74	27.31	7.78	6.64	3.57	0.91	0.9	0.89	0.69	0.56	100
Análisis 3	50.17	27.52	7.68	6.82	3.77	1.16	1.05	0.68	0.5	0.65	100
Promedio	50.4	27.3	7.77	6.66	3.66	1.09	0.98	0.83	0.68	0.62	100

Taller 5

Zona Superficial

En los resultados obtenidos en este análisis reportado en la Tabla 24 se encontró un contenido elemental principal de oxígeno, silicio, sodio, aluminio, y potasio el cual hace referencia a los elementos que constituyen el esmalte base y el azul cobalto. Los elementos cloro y calcio se debe a impurezas que puede contener la arena sílice y/o al agregado de sal o tequesquite en la elaboración del azul cobalto.

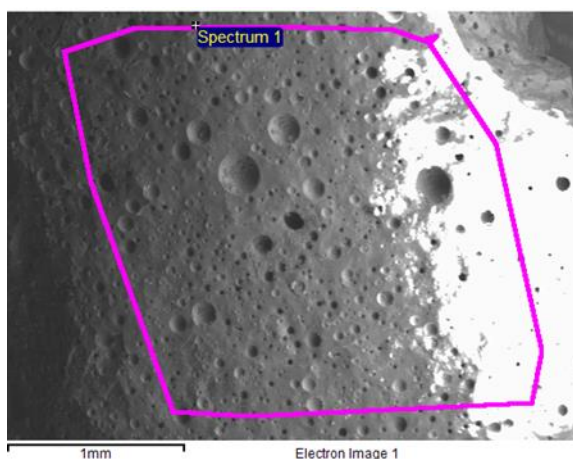


Imagen 22. Espectroscopia obtenida por el estudio de EDS, con la región de interés analizada. Zona Superficial.

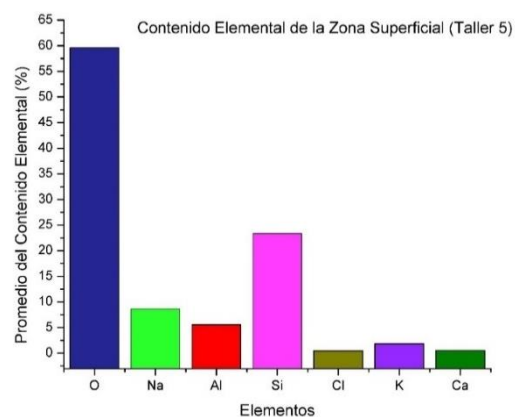


Gráfico 22. Contenido elemental porcentaje en peso, obtenido de una muestra de loza decorada con azul cobalto. (Zona Superficial)

Tabla 24. Contenido elemental de la zona superficial taller 5.

Número de análisis	O	Si	Na	Al	K	Ca	Cl	Total
Análisis 1	59.58	23.34	8.64	5.57	1.87	0.51	0.49	100
Promedio	59.58	23.34	8.64	5.57	1.87	0.51	0.49	100

Zona Transversal

En la zona transversal (Tabla 25) se encontró un contenido elemental principal de oxígeno, silicio, sodio, aluminio, y potasio dichos elementos constituyen al esmalte base y el azul cobalto.

Los elementos secundarios que son: calcio, cobalto y plomo, se pueden encontrar en impurezas del material cerámico (jahuete), en el óxido de cobalto utilizado en para la pintura azul y en el esmalte base realizado a partir de una mezcla de metales entre ellos el plomo.

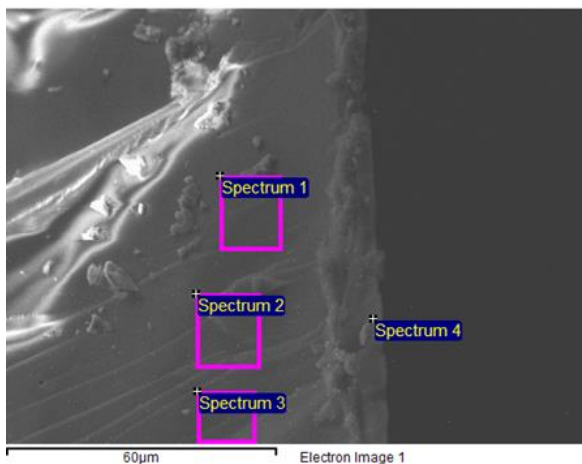


Imagen 23. Espectroscopia del estudio de EDS con las regiones de interés analizadas Zona Lateral

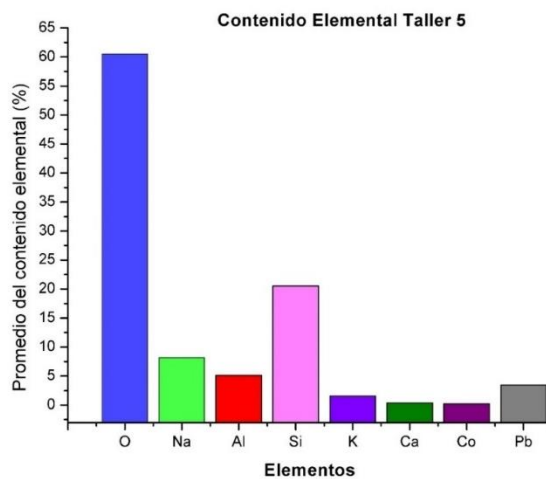


Gráfico 23. Contenido elemental, en porcentaje peso de una muestra de loza decorada con azul cobalto. (Zona de Análisis: Lateral)

Tabla 25. Contenido elemental de la zona transversal taller 5.

Numero de análisis	O	Si	Na	Al	Pb	K	Ca	Co	Total
Análisis 1	62.46	19.42	8.37	5.05	3.04	1.35	0.18	0.13	100
Análisis 2	60.04	20.52	8.88	5.08	3.2	1.56	0.36	0.36	100
Análisis 3	60.64	20.21	8.87	4.99	3.17	1.49	0.35	0.28	100
Análisis 4	58.87	22.05	6.53	5.36	4.48	1.94	0.57	0.19	100
Promedio	60.5	20.55	8.16	5.12	3.47	1.58	0.37	0.24	100

Análisis de pintura azul cobalto antes del horneado (polvo)

Los elementos encontrados en este análisis reportado en la Tabla 26, son: oxígeno, silicio, sodio, aluminio, potasio, cloro, cobalto, calcio y hierro. Cuyos elementos principales del esmalte base y la pintura azul son: Oxígeno, silicio, sodio, aluminio y potasio, estos elementos son los que permiten la vitrificación de la pieza. Los elementos cloro, calcio y hierro, su presencia se debe a impurezas que puede tener la arena sílice, la sal o el tequesquite utilizados en la elaboración de la pintura azul al igual que el elemento cobalto, presente en el óxido de cobalto, ingrediente utilizado para la formulación de la pintura azul.

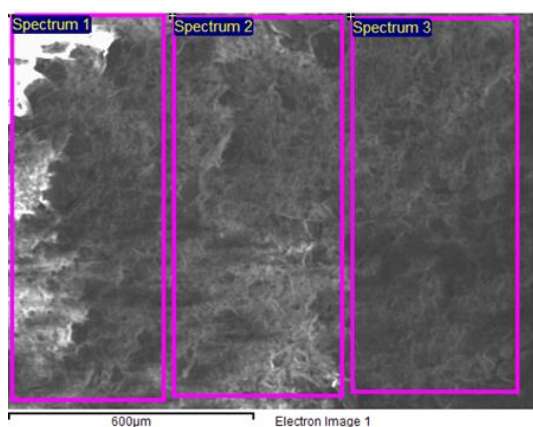


Imagen 24. Espectroscopia obtenida por el análisis de EDS, con las regiones de interés a analizar, en polvos.

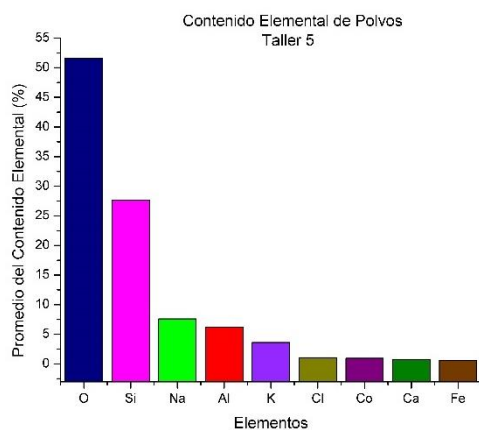


Gráfico 24. Contenido elemental, en porcentaje peso de una muestra de polvos de pintura de azul cobalto.

Tabla 26. Contenido elemental en polvos taller 5.

Elementos	O	Si	Na	Al	K	Cl	Co	Ca	Fe	Total
Análisis 1	51.84	27.67	7.42	6.13	3.64	1.05	0.94	0.7	0.62	100
Análisis 2	51.41	27.47	7.98	6.11	3.68	1.22	0.88	0.65	0.6	100
Análisis 3	51.6	27.77	7.44	6.28	3.55	0.93	1.08	0.73	0.63	100
Promedio	51.62	27.64	7.61	6.17	3.62	1.07	0.97	0.69	0.61	100

Taller 6

Zona Superficial

El contenido elemental de este análisis se encuentra reportado en la Tabla 27, donde se observa que los elementos con mayor prevalencia son: oxígeno, silicio, aluminio, sodio y potasio, estos elementos se encuentran en el esmalte base, los más abundantes son el oxígeno y el silicio, presentes en el óxido de silicio (arena sílice) que permiten la vitrificación de la pieza.

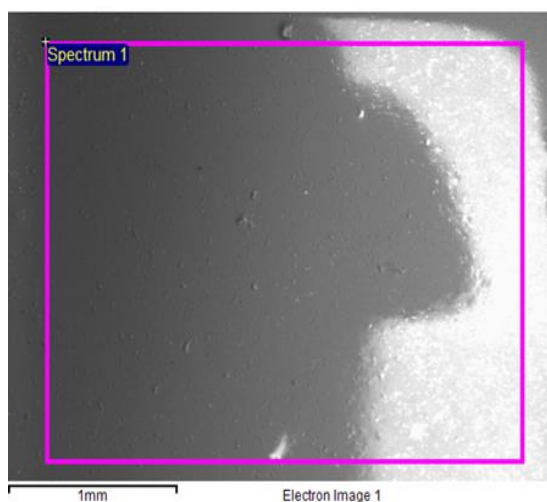


Imagen 25. Espectroscopia obtenida por el análisis de EDS, con la región de interés analizada. Zona Superficial

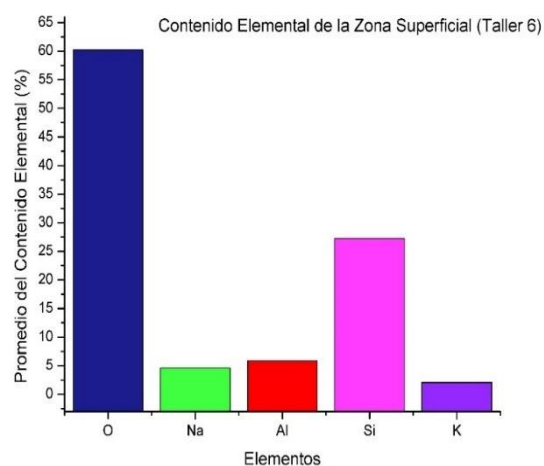


Gráfico 25. Contenido elemental porcentaje en peso, obtenido de una muestra de loza decorada con azul cobalto. (Zona Superficial)

Tabla 27. Contenido elemental de la zona superficial taller 6.

Numero de análisis	O	Si	Al	Na	K	Total
Análisis 1	60.2	27.25	5.84	4.61	2.1	100
Promedio	60.2	27.25	5.84	4.61	2.1	100

Zona Transversal

El contenido elemental obtenido de este análisis se reporta en la Tabla 28. Los elementos base son oxígeno, silicio, sodio, aluminio y potasio, estos elementos se encuentran en el esmalte base y la pintura azul, el oxígeno y silicio son los de mayor abundancia y son los que permiten la vitrificación de la pieza.

Los elementos plomo y estaño, se encuentran en el esmalte base, ya que este está conformado por una aleación estano-plumifera. Y el elemento cobalto se encuentra en el óxido de cobalto, utilizado para la formulación de la pintura azul.

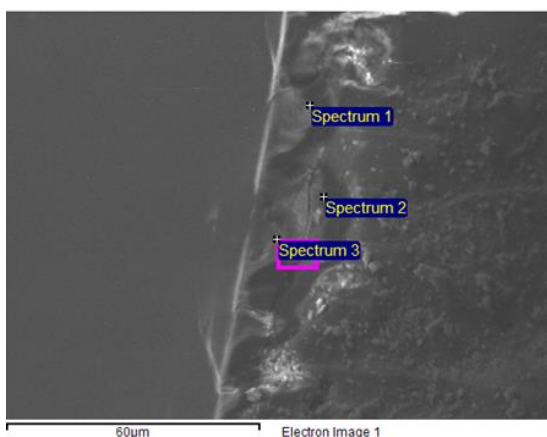


Imagen 26. Espectroscopia del estudio de EDS con las regiones de interés analizadas Zona Lateral

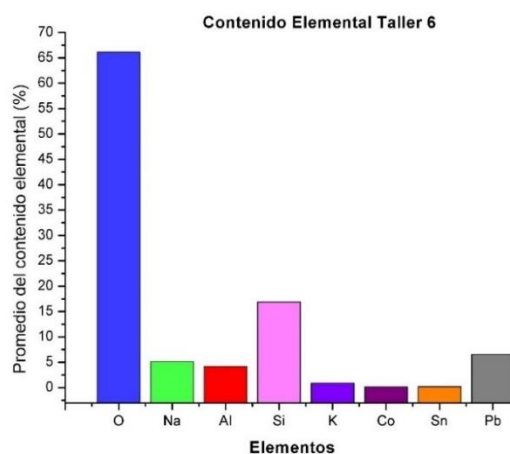


Gráfico 26. Contenido elemental, en porcentaje peso de una muestra de loza decorada con azul cobalto. (Zona de análisis: Lateral).

Tabla 28. de contenido elemental de la zona transversal taller 6.

Numero de análisis	O	Si	Pb	Na	Al	K	Sn	Co	Total
Análisis 1	69.07	15.78	5.57	5.69	3.78	0.5	-0.48	0.08	100
Análisis 2	63.66	18.06	7.27	4.75	4.34	1.15	0.56	0.21	100
Análisis 3	65.54	16.77	6.84	4.93	4.32	1	0.5	0.1	100
Promedio	66.09	16.87	6.56	5.12	4.15	0.88	0.19	0.13	100

Taller 7

Zona Superficial

En los resultados obtenidos para el taller 7 (Tabla 29) se encontró un contenido elemental principal de oxígeno, silicio, sodio, aluminio, y potasio el cual hace referencia a los elementos que constituyen el esmalte base y el azul cobalto.

Los elementos sodio, aluminio, y calcio se debe a impurezas que puede contener la arena sílice y/o al agregado de sal o tequesquite en la elaboración del azul cobalto. La presencia de cobalto se debe al oxido de cobalto utilizado en la elaboración de la pintura azul.

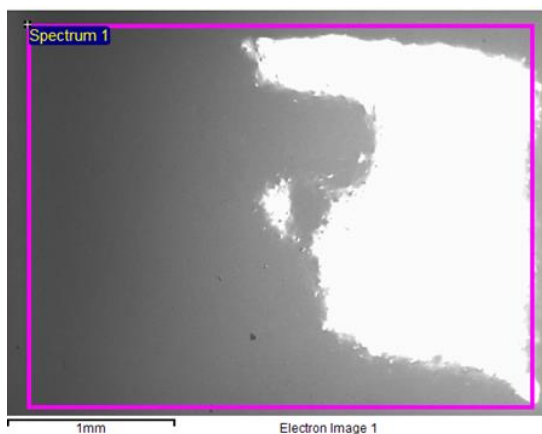


Imagen 27. Espectroscopia obtenida por el análisis de EDS, con la zona de interés analizada. Zona Superficial

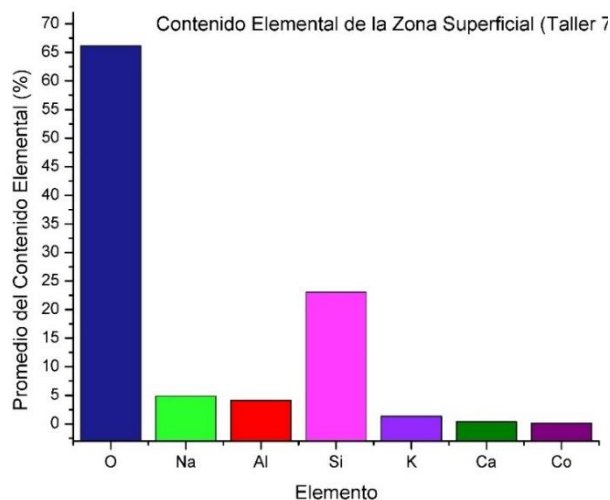


Gráfico 27. Contenido elemental porcentaje en peso, obtenido de una muestra de loza decorada con azul cobalto. (Zona Superficial).

Tabla 29. Contenido elemental de la zona superficial taller 7.

Número de análisis	O	Si	Na	Al	K	Ca	Co	Total
Análisis 1	66.15	23.06	4.86	4.12	1.32	0.37	0.12	100
Promedio	66.15	23.06	4.86	4.12	1.32	0.37	0.12	100

Zona Transversal

En los resultados obtenidos de este análisis (Tabla 30) se encontró un contenido elemental principal de oxígeno, silicio, sodio, aluminio, y potasio estos elementos constituyen al esmalte base y el azul cobalto, lo más abundantes son el oxígeno y el silicio debido al óxido de silicio (arena sílice) contenido en el esmalte base y azul cobalto el cual permite la vitrificación de la pieza cerámica.

Los elementos sodio, aluminio, y calcio se encuentran debido a impurezas que contiene la arena sílice y/o la sal o tequesquite que se agrega en la elaboración del azul cobalto.

La presencia de plomo y estaño se debe a la aleación estano-plumífera con la que se elabora el esmalte base, mientras que la presencia de cobalto se atribuye al óxido de cobalto ingrediente utilizado para la elaboración de la pintura azul.

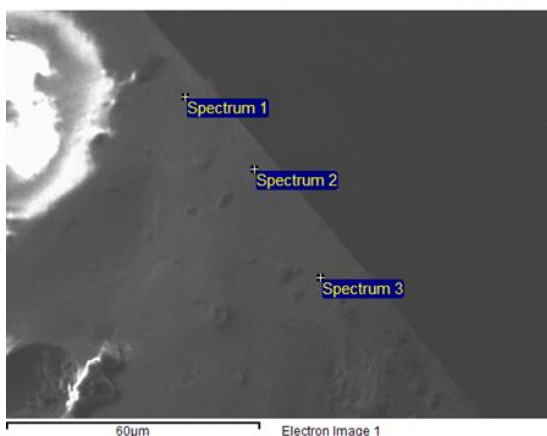


Imagen 28. Espectroscopia obtenida por el análisis de EDS, con las zonas de interés analizadas. Zona Lateral.

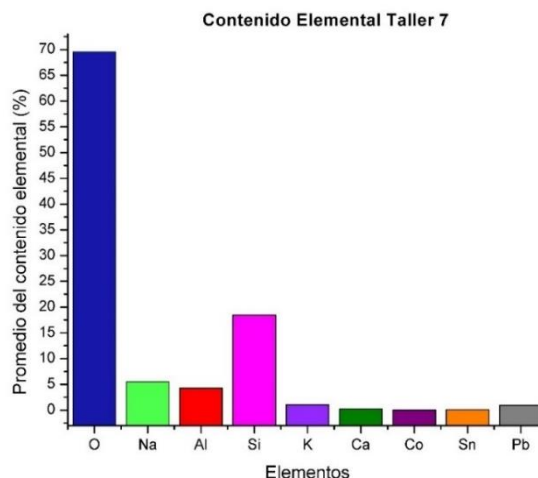


Gráfico 28. Contenido elemental, en porcentaje peso de una muestra de loza decorada con azul cobalto. (Zona de análisis: Lateral).

Tabla 30. Contenido Elemental de la zona transversal taller 7.

Numero de análisis	O	Si	Na	Al	K	Pb	Ca	Sn	Co	Total
Análisis 1	69.42	18.66	5.21	4.24	1.17	0.84	0.12	0.25	0.1	100
Análisis 2	70.01	18.83	5.26	4.02	0.97	0.94	0.19	-0.26	0.04	100
Análisis 3	69.19	17.84	6.01	4.4	1.07	0.99	0.31	0.24	-0.05	100
Promedio	69.54	18.44	5.49	4.22	1.07	0.92	0.2	0.08	0.03	100

Pintura azul cobalto (Análisis de polvo)

Los datos obtenidos de esta prueba se reportan en la Tabla 31 donde se encontró un contenido elemental de: oxígeno, sodio, aluminio, silicio, potasio, calcio, cloro, hierro y cobalto.

El contenido elemental principal que constituye el esmalte base y a la pintura azul cobalto son: oxígeno, silicio, sodio, aluminio y potasio, mientras que el cloro, calcio y hierro se atribuyen a impurezas presentes en la arena sílice, sal o tequesquite ingredientes utilizados en la elaboración de la pintura azul, así como la presencia de cobalto también se atribuye al ingrediente óxido de cobalto.

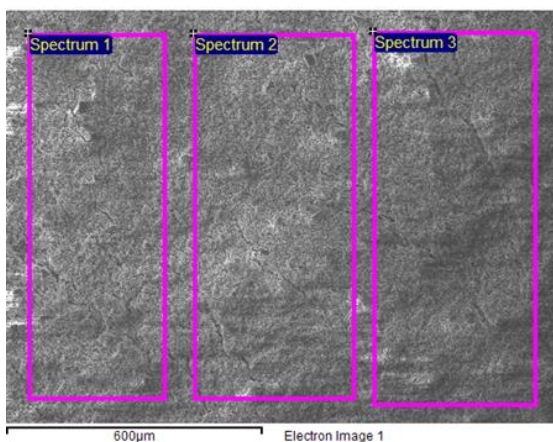


Imagen 29. Espectroscopia obtenida por el análisis de EDS, con las regiones de interés a analizar, en polvos.

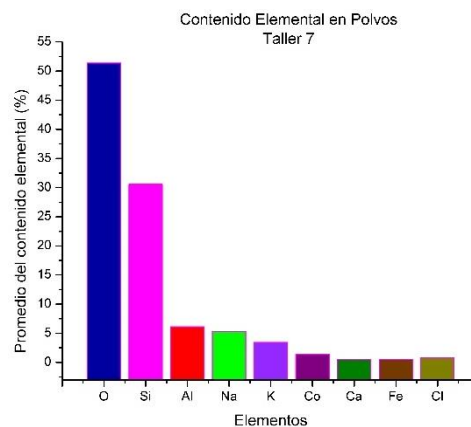


Gráfico 29. Contenido elemental porcentaje en peso, obtenida de una muestra en polvo de pintura azul cobalto.

Tabla 31. Contenido elemental en polvos taller 7.

Elementos	O	Na	Al	Si	Cl	K	Ca	Fe	Co	Total
Análisis 1	51.08	5.33	6.05	30.74	0.81	3.44	0.57	0.49	1.48	100
Análisis 2	51.62	5.3	6.12	30.64	0.78	3.4	0.49	0.45	1.21	100
Análisis 3	51.39	5.4	6.17	30.33	0.82	3.45	0.53	0.44	1.48	100
Promedio	51.36	5.34	6.11	30.57	0.8	3.43	0.53	0.46	1.39	100

Mapeo elemental por EDS

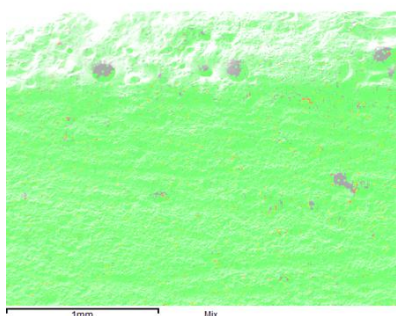


Imagen 30. Superficie coloreada en verde para el (Si) y rojo para el (Co) después del mapeo por EDS.

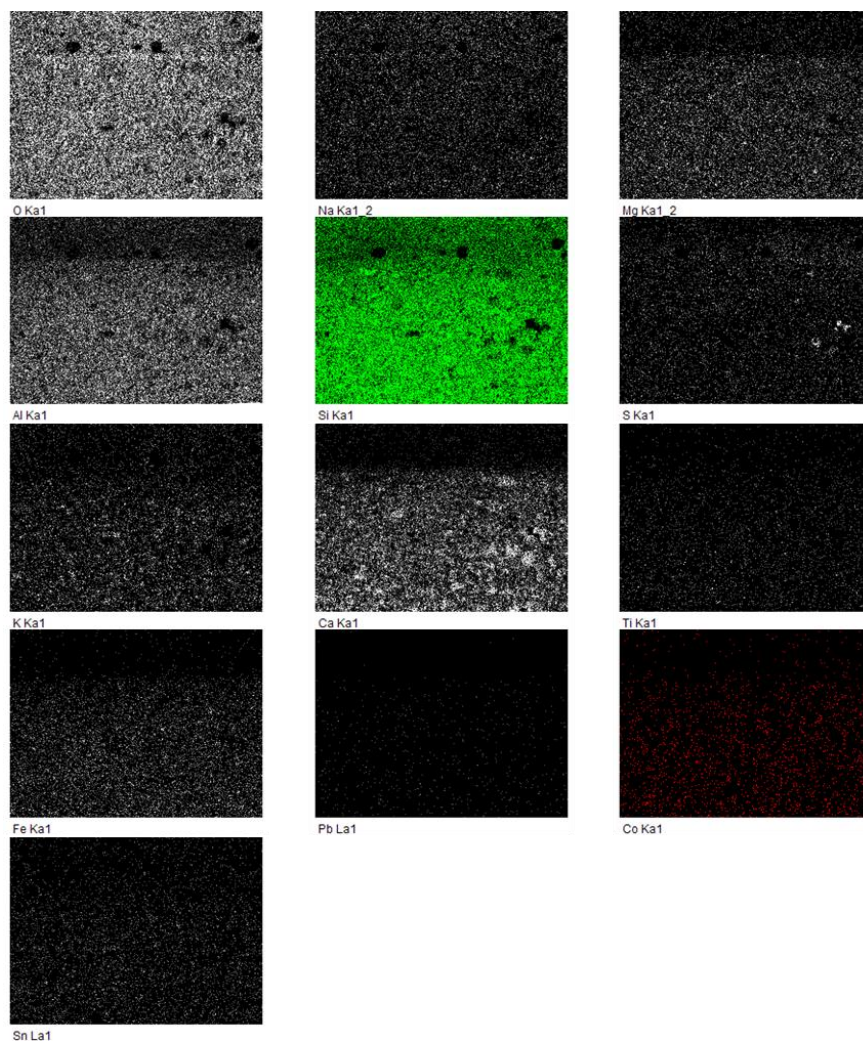


Imagen 31. Contenido elemental obtenido por EDS, localización de cada elemento, blancos y negros, elementos totales, verde elemento silicio, rojo elemento cobalto.

En las imágenes 30 y 31 se aprecian los elementos encontrados después del análisis de mapeo. Los elementos de interés Co y Si se iluminaron de color rojo (Co) y verde (Si), en el cual se puede observar una mayor cantidad de silicio que de cobalto, en la Imagen 30 el color más predominante es el color verde, y el color rojo es casi imperceptible, pero se aprecia en pequeños puntos, lo que nos indica que, si hay presencia de cobalto, pero esta encapsulado y/o apantallado por el silicio.

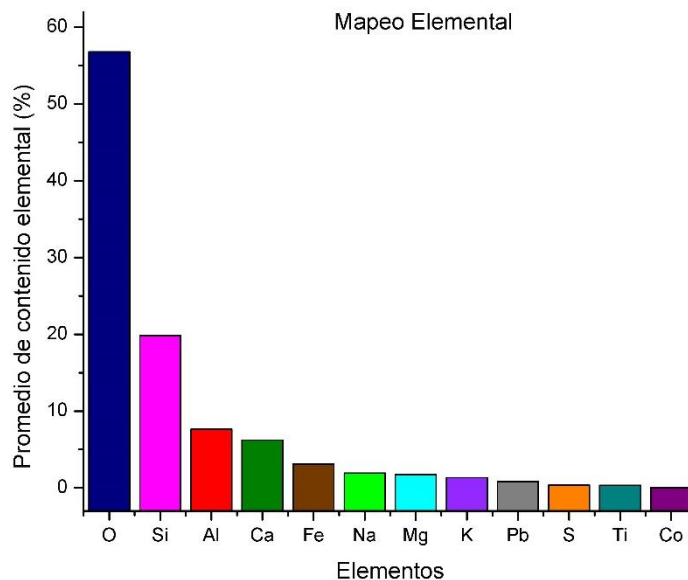


Gráfico 30. Contenido elemental en porcentaje peso, obtenido por mapeo elemental de EDS.

En el Gráfico 30 es observable la cantidad de elementos presentes en la pieza de talavera, cuyos elementos principales y con mayor cantidad son O, Si, Al, Ca. Al igual que en los análisis realizados anteriormente en diferentes regiones de la pieza podemos observar la presencia de elementos principales como son: O, Si, Al, Ca, K, Na.

Elementos como el Fe, Mg, Pb, son atribuidos al esmalte base elaborado mediante una aleación estano plumífero de Pb y Sn, el Fe y el Mg pueden ser trazas contenidas en los lingotes del material. El cobalto, es el material primordial del color azul cobalto.

Con los resultados obtenidos de la sección 3.6, la propuesta que aporta este trabajo para los talaveranos y para la implementación a la NOM-132-SCFI-1998 es que la caracterización elemental principal mediante análisis EDS, FRX o DRX, es clave importante para la caracterización de arcilla, jahuete (*Esquina Arenas, 2021*),

esmalte (*Nallely, 2024*), colores (*Yauri Condori, 2023*) y principalmente el azul cobalto característico de esta cerámica, ya que esta nos permite verificar que los talleres productores de Talavera cuentan con el proceso de elaboración de Talavera correcto.

Capítulo 4 Conclusiones.

- I. Con la prueba de apariencia en cuerpo cerámico y pieza terminada hay variaciones entre pieza y pieza de cada taller, pero este comportamiento se atribuye a la técnica artesanal que sigue cada taller y lo cual hace a cada pieza única, pero, aunque tienen esta característica particular la porosidad visual, el craquelado de las piezas y el relieve se cumplen en 70-80% de todas las piezas analizadas.
- II. El análisis de absorción de agua en cuerpo cerámico (Jahuete) es una prueba, que se propone en este trabajo para la implementación en la NOM-132-SCFI-132, debido a la temperatura utilizada en el primer tratamiento térmico ya que es crucial para la fuerza que adquiere el cuerpo cerámico y la resistencia que soportara para un segundo tratamiento térmico ya que si este se realiza por debajo de los 800 °C el Jahuete quedará muy poroso y permeable al agua en comparación a uno tratado a 1000 °C, esta implementación ayudará a los Talaveranos a tener un control de calidad en los cuerpos cerámicos y evitará pérdidas durante la aplicación del esmalte y la vitrificación de este.
- III. En el análisis de porcentaje de cobalto antes del tratamiento térmico se observó un bajo contenido de cobalto que no corresponde al establecido por la NOM-132-SCFI-1998, esto se lo atribuimos a la modificación que todos los talleres han tenido a lo largo del tiempo, pero cabe señalar que el contenido de este es constante para todas las piezas y todos los talleres

analizados, este trabajo propone un ajuste para el contenido de cobalto presente en la piezas realizadas en la actualidad.

- IV. El análisis de porcentaje de cobalto en pieza terminada es un análisis propuesto que sigue la metodología implementada por la NOM-132-SCFI-1998 para la determinación de cobalto después del tratamiento térmico, los resultados obtenidos para esta prueba sugieren un bajo contenido de cobalto, correspondientes al 0.7365% y 1.0311%, como límite inferior y superior respectivamente, esta prueba servirá para el análisis de piezas que no cuenten con el lote correspondiente de azul cobalto (pintura líquida) antes del horneado.
- V. El análisis de Tomografía computarizada propuesta para su implementación, nos permitió proporcionar datos cuantificables de la porosidad e inclusiones que se tienen en la pieza terminada así como también la medición del espesor del esmalte, evitando la variación del error humano que se tenía con la prueba propuesta en la NOM-132-SCFI-1998, con este análisis podemos verificar las características de apariencia que se tienen ya en la NOM antes mencionada pero con la cuantificación adecuada y precisa que se requiere para su validación.
- VI. El análisis de SEM-EDS que se propone en este trabajo, permitió cuantificar el azul cobalto de manera superficial y transversal y con esto verificar que la vitrificación que se lleva a cabo durante el segundo tratamiento térmico encapsula al esmalte estano-plumífero (*Nallely, 2024*) y al azul cobalto evitando su emisión o liberación con el paso del tiempo o con el uso en piezas terminadas de Talavera. Así como se pudo corroborar el contenido elemental de las piezas analizadas de todos los talleres los cuales demostraron que ante la técnica artesanal que cada taller sigue, el uso de los elementos y de los materiales para obtener las piezas de Talavera son constantes para todos los talleres esto lo hace una técnica artesanal pero

sistemática gracias al proceso de elaboración de Talavera reconocida por el IMPI y la UNESCO.

Referencias Bibliográficas

1. Guerrero Rivero, S. A. (2020). *La arqueometría y etnoarqueología en el estudio de la innovación tecnológica: Ciclos Kondratieff y sus efectos en la producción de cerámica vidriada a partir del siglo XVI en el centro de México. Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 30, 177–219.
2. Ben Amara, A. (2018). *Cerámica vidriada*. En R. Chapoulie, M. Sepúlveda, N. Del-Solar-Velarde y V. Wright (Eds.), **Arqueometría** (pp. 451–466). Lima: Institut français d'études andines. <https://doi.org/10.4000/books.ifea.13120>
3. Connors, M. (1999). *Talavera poblana: Four centuries of Mexican ceramic tradition*. New York: Americas Society.
4. McQuade, M. C. (Curator). (1999). *Talavera Poblana: Four Centuries of a Mexican Ceramic Tradition* [Catálogo de exposición]. New York, NY: The Americas Society; The Hispanic Society of America; Puebla, Mexico: Museo Amparo.
5. López, T., & Martínez, A. (1995). *El vidriado en cerámica*. En *El mundo mágico del vidrio*. Fondo de Cultura Económica.
6. García Iñáñez, J., Schwedt, A., Madrid Fernández, M., Buxeda i Garrigós, J., & Gurti Esparraguera, J. M. (2005). *Archeometric characterization of main majolica Catalan production centers of 16th and 17th centuries*. En *Actas del VI Congreso Ibérico de Arqueometría* (pp. 97–107).
7. Fortnum, C. D. E. (1892). *Maiolica* (4th ed.). Chapman & Hall.
8. Leoni, D., Macioci, V., & Martínez Castillo, P. (2017). *Cerámica talavera en España y México* [Ponencia]. III Jornadas Estudiantiles de Investigación en Disciplinas Artísticas y Projectuales, Facultad de Bellas Artes, Universidad Nacional de La Plata. Recuperado de <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/66251> (9 páginas).
9. Coll Conesa, J. (2008). La loza decorada en España. *Ars Longa: Cuadernos de Arte*, 17, 151–168. <https://doi.org/10.7203/ARSLONGA.17.11864>
10. De la Rosa Elisea, V. Ó. (2013). *Talavera poblana. Cerámica multicultural en controversia. Espacio Diseño*, (218–219), 22–27. <https://espacioidisenoojs.xoc.uam.mx/index.php/espacioidiseno/article/view/2014>

10. Tolentino Martínez, J. M., & Rosales Ortega, R. (2011). *La producción de talavera de Puebla y San Pablo del Monte, Tlaxcala: un sistema productivo local en transformación*. **Revista Pueblos y Fronteras Digital**, 6(12), 198–235.
<https://doi.org/10.22201/cimsur.18704115e.2011.12.127>
11. Cervantes, E. A. (1987). *Loza blanca y azulejo de Puebla*. Puebla: Gobierno del Estado de Puebla, Secretaría de Cultura.
12. Velázquez Thierry, L. de L. (2021). *Los procesos artesanales para la elaboración de Talavera de Puebla y Tlaxcala en México*. *Elementos*, 28(122), 13–20. Recuperado de <https://elementos.buap.mx/directus/storage/uploads/00000005922.pdf>
13. Gómez Marín, J. (Coord.). (2020). *Azulejos de Puebla: diseños de una manufactura patrimonial*. Gobierno del Estado de Puebla, Secretaría de Cultura del Estado de Puebla.
14. Secretaría de Economía. (2016, julio 20). *¿Sabías que la talavera tiene denominación de origen?* Gobierno de México. <https://www.gob.mx/se/articulos/sabias-que-la-talavera-tiene-denominacion-de-origen>
15. Revista Checkout. (21 de septiembre de 2021). *Uriarte Talavera* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=No3AWWmIA_I
16. Coll Conesa, J., Ferrero Calabuig, J. L., Juanes Barber, D., & Roldán García, C. (2003). *Caracterización del cobalto en mayólicas valencianas: aspectos de tecnología productiva y su evolución (ss. XIV–XIX)*. En R. Lavagna (Ed.), *Ceramica in blu. Diffusione e utilizzazione del blu nella ceramica* (Actas del XXXV Convegno Internazionale della Ceramica, Savona, Italia, 31 de mayo–1 de junio de 2002, pp. 63–70). Firenze, Italia: Edizioni All’Insegna del Giglio.
17. Gamiño-Arroyo, Z., Gómez Castro, F. I., Sánchez Cadena, L. E., Fuentes Ramírez, R., & Contreras López, D. (2019). El cobalto, el metal del siglo XXI. *Naturaleza y Tecnología*, 6(1), 26–31.
18. Corominas, J. (1973). *Breve diccionario etimológico de la lengua castellana* (3ª ed.). Madrid: Editorial Gredos.
19. Menargues Irles, S. (2019). Z = 27, cobalto, Co. El elemento químico de los “duendes”. *Anales de Química de la RSEQ*, 115(2), 89. Recuperado de <https://analesdequimica.es/index.php/AnalesQuimica/article/view/1402>
20. Lenntech. (s.f.). *Cobalto – Co*. <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/co.htm>
21. Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la lengua española* (23.ª ed.) [Diccionario en línea]. <https://dle.rae.es>

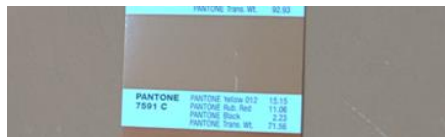
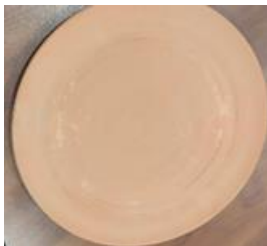
22. Caruso, N. (1987). *Dizionario illustrato dei materiali e delle tecniche ceramiche*. Hoepli Editore. https://books.google.com/books?id=Y59DBb4Ng_OC
23. Díez Ceramic. (2021, 12 de agosto). ¿Qué es el engobe cerámico y cómo utilizarlo? <https://diezceramic.com/engobe-ceramico/>
24. Díez Ceramic. (2022). ¿Qué son los opacificantes cerámicos y para qué sirven? <https://diezceramic.com/opacificantes-ceramicos/>
25. Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). (2021, 13 de enero). *Loza estannífera*. Mediateca INAH. https://mediateca.inah.gob.mx/islandora_74/node/5259
26. García López, M., & Vidal y Martí, J. (1922). *Manual completo de cerámica: o fabricación de toda clase de objetos de tierra cocida*. Librería de Luis Santos.
27. García López, M., & Vidal y Martí, J. (1922). *Manual completo de cerámica o fabricación de toda clase de objetos de tierra cocida* (Nueva ed.). Librería de Luis Santos. Recuperado de <https://hdl.handle.net/2027/nyp.33433072128733>
28. Nallely, R. R. (2024). *Análisis de la normatividad del proceso de producción de Talavera enfocado en la caracterización del esmalte estaño-plumbífero* (Tesis de Licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).
29. Esquina Arenas, G. (2021). Estudio de la arcilla y cerámica de Talavera por técnicas de rayos X, incluyendo sus potenciales propiedades piezo-capacitivas [Tesis de maestría, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio Institucional BUAP. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/15419>
30. Yauri Condori, L. J. (2023). Caracterización y evaluación de los colorantes aplicados durante el proceso de vitrificación de la cerámica Talavera poblana [Tesis de maestría, Instituto de Física “Ing. Luis Rivera Terrazas”, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio Institucional de la BUAP. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/20358>

Anexos

Anexo 1. imágenes referenciales de la prueba de apariencia en cuerpo cerámico jahuete.

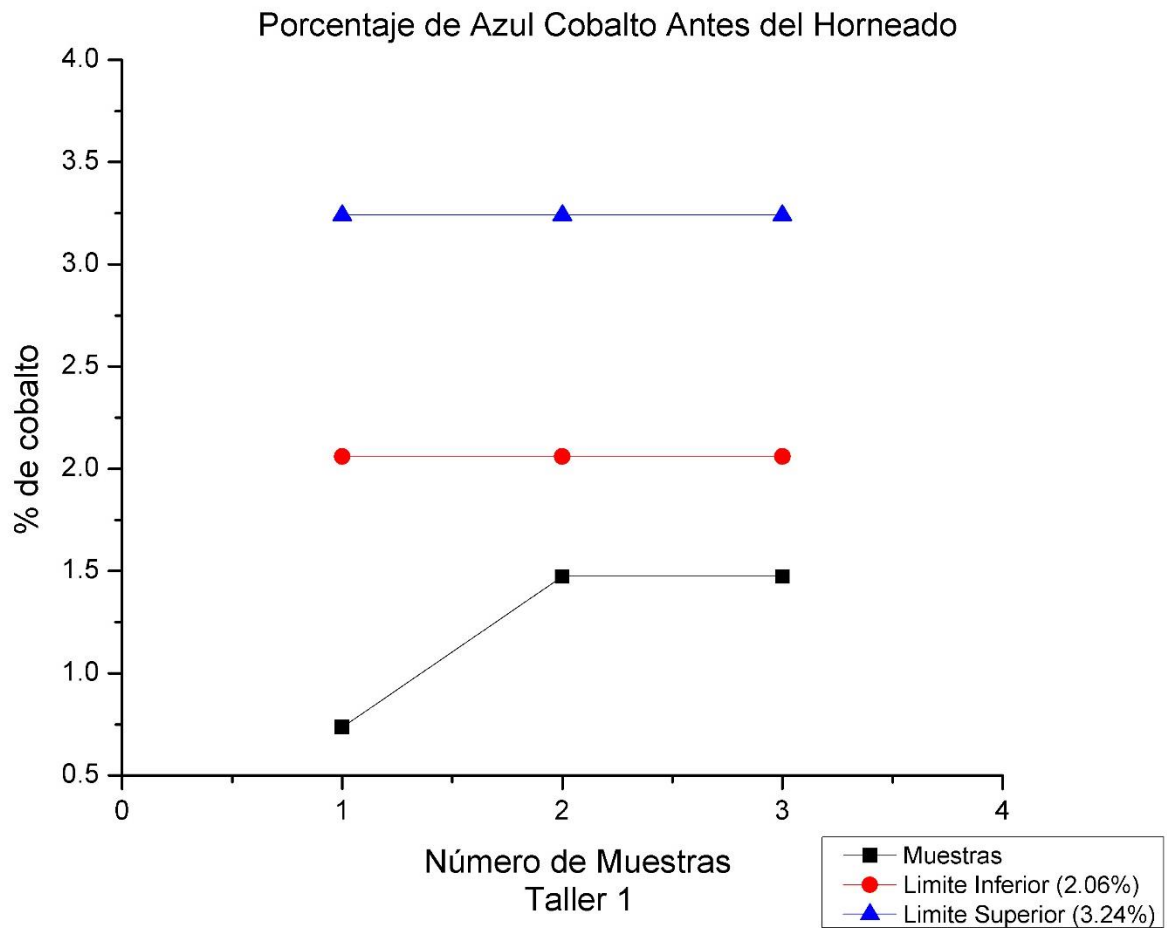
Taller	Pieza	Color de Pantone real.
1		 Pantone 479C
		 Pantone 479C
2		 Pantone 7514C
		 Pantone 7514C

Imágenes referenciales de la prueba de apariencia en cuerpo ceramico jahuete.

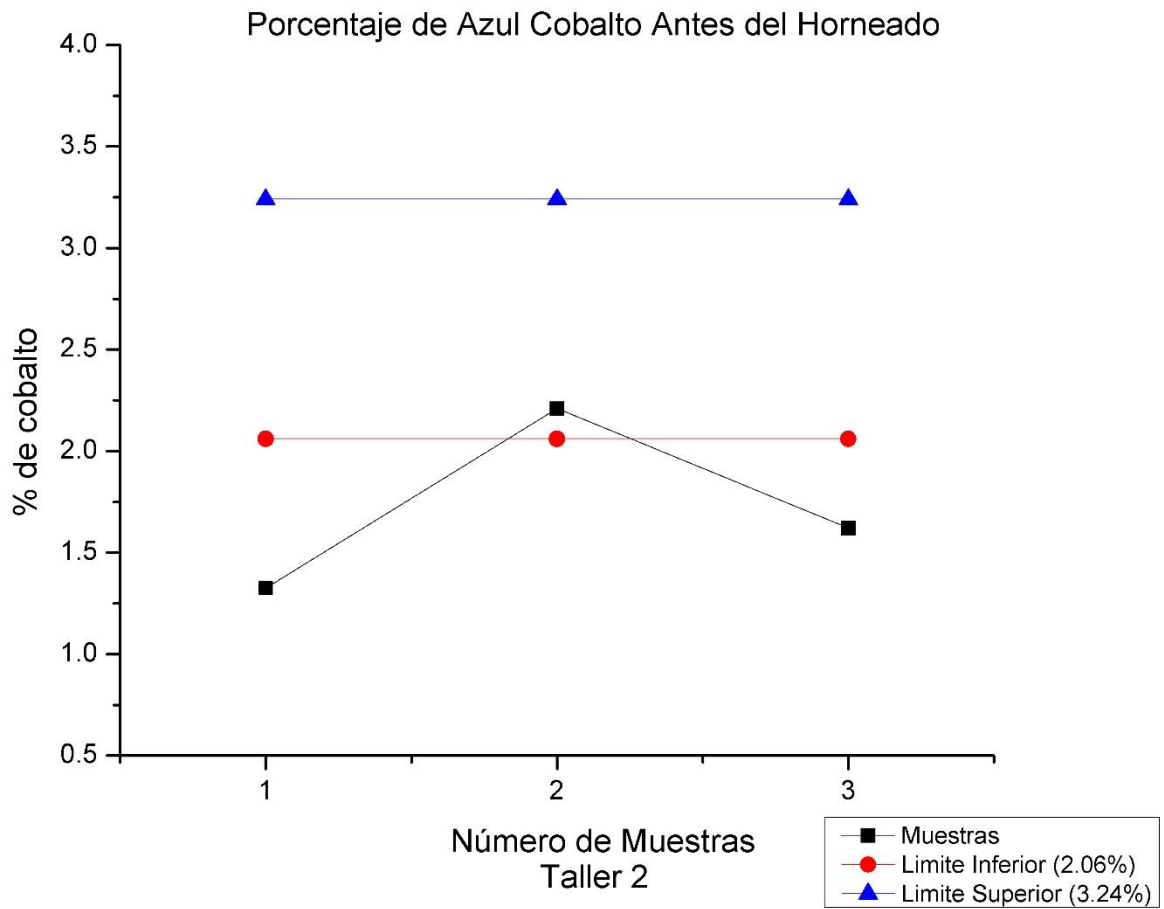
Taller	Pieza	Color de Pantone real
3	 Plato Trinche (5)	 Pantone 7591C
	 Plato Semi-Hondo (6)	 Pantone 7591C
4	 Plato Trinche (7)	 Pantone 7591C
	 Plato Postre (8(9))	 Pantone 7591
5	 Plato Trinche (9)	 Pantone 2432

Anexo 2 Graficas del análisis de cobalto antes de horneado por taller.

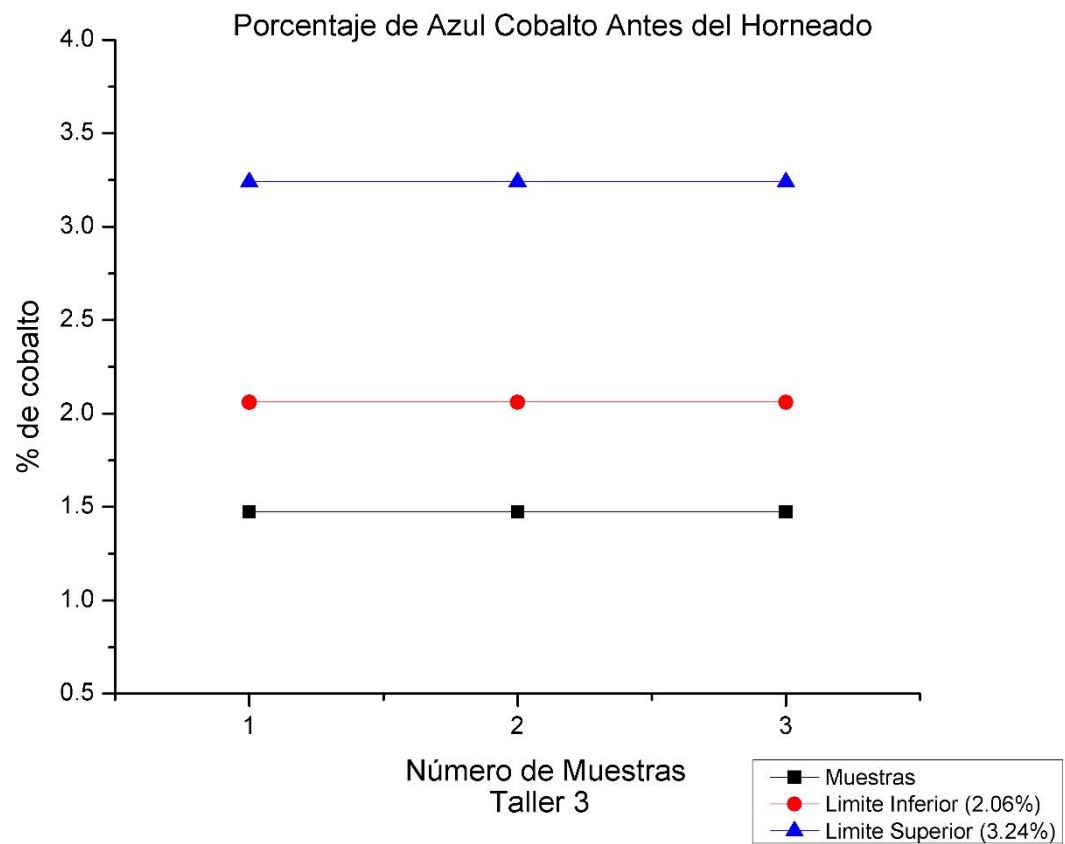
Taller 1



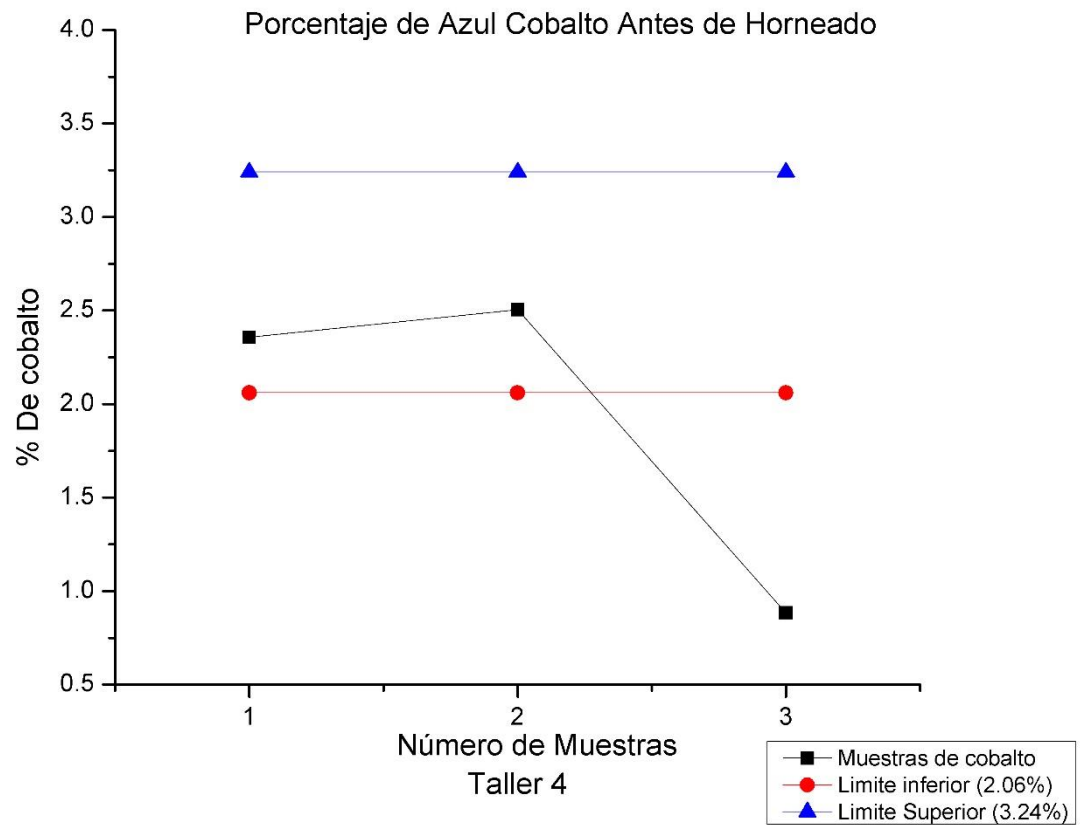
Taller 2



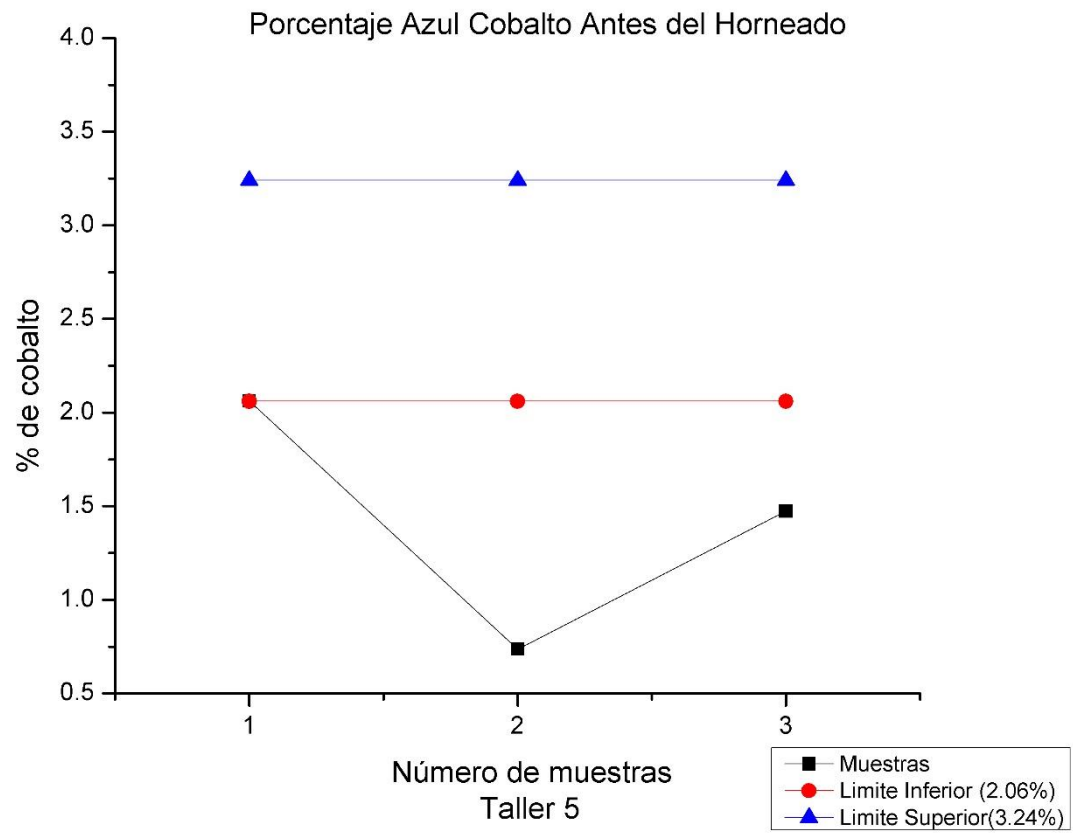
Taller 3



Taller 4



Taller 5



Anexo 3

Tabla de datos obtenidos de la prueba de apariencia después de 1 hora y 24 horas en cuerpo cerámico (jahuete).

Taller	Número de Muestra	Peso Inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 24 horas (g)
Taller 1	1	270.404g	311.556g	315.666g
	2	201.636g	228.343g	232.870g
	3	113.785g	130.460g	133.018g
Taller 2	4	170.456g	207.340g	210.833g
	5	161.821g	196.610g	199.200g
	6	205.580g	247.944g	251.631g
Taller 3	7	118.257g	134.958g	137.430g
	8	59.392g	68.359g	70.001g
Taller 4	9	191.424g	214.690g	218.011g
	10	177.215g	200.843g	203.831g
	11	150.126g	169.737g	172.856g
	12	129.293g	147.495g	149.012g
	13	190.657g	211.261g	215.190g
Taller 5	14	205.485g	230.962g	234.220g
	15	179.794g	203.907g	206.141g
	16	155.701g	175.805g	177.036g

Anexo 4

Tabla de datos obtenidos de la prueba de absorción durante 1 hora y 24 horas en pieza terminada.

Taller	Número de muestra	Peso inicial (g)	Peso después de 1 hora (g)	Peso después de 24 horas (g)
Taller 1	1	358.57	376.169	396.886
	2	327.797	327.993	327.876
	3	177.082	192.65	193.754
Taller 2	4	255.915	258.002	261.791
	5	242.55	246.306	277.184
	6	269.772	283.096	307.097
Taller 3	7	241.29	257.084	261.37
	8	115.418	118.77	125.667
	9	169.035	179.754	182.98
Taller 4	10	302.614	322.202	325.159
	11	240.402	258.306	261.527
Taller 5	12	340.718	667.358	368.011
	13	217.329	234.084	234.351

Anexo 5

Tabla Cantidad de EDTA gastado en la titulación de azul cobalto antes del horneado

Taller	Cantidad de Muestra (g)	EDTA (mL)
Taller 1	1.009	0.25
		0.5
		0.5
Taller 2	1.002	0.45
		0.75
		0.55
Taller 3	1.008	0.5
		0.5
		0.5
Taller 4	1.004	0.8
		0.85
		0.3
Taller 5	1.004	0.7
		0.25
		0.5

Anexo 6

Tabla Cantidad de EDTA gastado en la titulación de azul cobalto, después del horneado.

Taller	Cantidad de muestra (g)	Volumen gastado de EDTA (mL)
1	1.002	0.55
		0.30
		0.70
2	1.008	0.25
		0.40
		0.20
3	1.005	0.25
		0.30
		0.25
4	1.007	0.25
		0.25
		0.25
5	1.003	0.25
		0.25
		0.25
6	1.002	0.35
		0.30
		0.30
7	1.002	0.35
		0.35
		0.35

Glosario

Barbotina: proviene del barbotine, que es una pasta de arcilla o caolín licuado utilizada para pegar o para decorar piezas de cerámica, con pincel o con molde. (*Real Academia Española, 2014*)

- Arcilla líquida de densidad cremosa, utilizada para unir las distintas partes de un objeto aún en estado duro de plástico o cuero. (*Caruso, 1987*)

Engobe: En alfarería, pasta de arcilla que se aplica a los objetos de barro, antes de cocerlos, para darles una superficie lisa y vidriada. (*Real Academia Española, 2014*)

- Es una suspensión de partículas de arcilla en agua,
- Arcilla ablandada en agua, con consistencia similar a la del yogur. (*Díez Ceramic, 2021*)

Torno: Del lat. tornus, y este del gr. τόρνος tórnos. Máquina que, por medio de una rueda, cigüeña, etc., hace que algo dé vueltas sobre sí mismo, como las que sirven para hilar, torcer seda, devanar, hacer obras de alfarería. (*Real Academia Española, 2014*)

Lechada: De leche, por el color. Masa muy suelta de cal o yeso, o de cal mezclada con arena, o de yeso con tierra, que sirve para blanquear paredes y para unir piedras o hiladas de ladrillo. (*Real Academia Española, 2014*)

Padilla: Del lat. patella 'plato en que se cocía la vianda y se servía a la mesa'. Horno para cocer pan, con una abertura en el centro de la plaza, por donde entra el aire para la combustión y se saca después la ceniza. (*Real Academia Española, 2014*)

Tahona: Del ár. hisp. aṭṭahúna, y este del ár. clás. aṭṭāḥūn[ah]. Molino de harina cuya rueda se mueve con caballería. (*Real Academia Española, 2014*)

Marzacotto: Sustancia con que se elabora el esmalte blanco distintivo de la mayólica, es en realidad un silicato de potasio y plomo. El marzacotto pulverizado es mezclado con estaño para formar el blanco (Bianco) (*Caruso, 1987*).

Opacificantes: Son un tipo de óxido metálico que se emplea en la decoración de la cerámica, se usan para eliminar la transparencia natural que tienen los vidriados, y conseguir una superficie opaca, están compuestos de diferentes elementos químicos como, por ejemplo, el óxido de cinc (ZnO), óxido de circonio (ZrO₂), bióxido de titanio (TiO₂) o estaño (SnO₂) (*Díez Ceramic, 2022*).

Loza estannífera: Loza decorada con una mezcla de estaño y plomo para esmaltar, mientras que con los óxidos de cobalto, antimonio, cobre, hierro y

manganeso se decoran las piezas para obtener los colores azul, amarillo, verde, anaranjado y negro respectivamente tras la cocción (*INAH, 2021*).